

10/092,599

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 9月25日

出願番号

Application Number:

特願2001-290640

[ST.10/C]:

[JP 2001-290640]

出願人

Applicant(s):

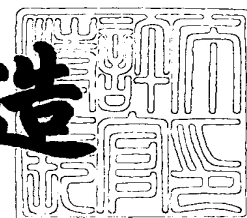
株式会社リコー

RECEIVED
JUN 18 2002
TECHNOLOGY CENTER 2800

2002年 3月 8日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2002-3014538

【書類名】 特許願

【整理番号】 0102397

【提出日】 平成13年 9月25日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 G01B 11/30
G01B 11/24

【発明の名称】 形状測定方法および形状測定装置

【請求項の数】 22

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式会社リコー内

 【氏名】 崎田 隆二

【特許出願人】

 【識別番号】 000006747

 【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

 【氏名又は名称】 株式会社 リコー

 【代表者】 桜井 正光

【代理人】

 【識別番号】 100082636

 【住所又は居所】 東京都港区赤坂 6 丁目 4 番 1 7 号 赤坂コーポ 3 0 6 号

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 真田 修治

 【電話番号】 03(3586)6969

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 007113

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9808725

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 形状測定方法および形状測定装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において

前記受光素子は画素を集積した画素列からなり、その画素面は前記格子パターン面と平行に且つ同一距離に配置されており、

前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される平面状被検物表面も格子パターン面と平行面上に配置され、

また、前記画素列は、前記平面状被検物表面上の同一個所を視野としており、その視野に対応する前記格子パターンは、パターンピッチを変更可能として、画素列の走査周期に同期してそのピッチが変化され、

さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検物表面との相対位置関係を前記受光素子の配列方向に沿って移動させる機構を有し、前記光学系と前記被検物との相対運動と、前記格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、

前記受光素子で得られるモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することを特徴とする形状測定装置。

【請求項 2】 モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において

前記受光素子は画素を集積した画素列からなり、その画素面は前記格子パターン面と平行面上に配置されており、

前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も画素列方向に平行であり、

また、前記画素列は、前記円筒状被検物表面上の同一個所を視野としており、その視野に対応する前記格子パターンは、パターンピッチを変更可能として、画素列の走査周期に同期してそのピッチが変化され、

さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、その回転による前記光学系と前記被検物との相対運動と、前記格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、

前記受光素子で得られるモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することを特徴とする形状測定装置。

【請求項3】 モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、

前記受光素子は画素を集積した画素列からなり、その画素面は前記格子パターン面と平行面上に配置されており、

前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も画素列方向に平行であり、

また、前記画素列は、前記円筒状被検物表面上の同一個所を視野としており、その視野に対応する格子パターンは、パターンピッチを変更可能として、画素列の走査周期に同期してそのピッチが変化され、

さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、その回転による前記光学系と前記被検物との相対運動と、前記格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、

前記受光素子で得られるモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することを特徴とする形状測定装置。

【請求項4】 実体格子型のモアレ光学系を用い、

特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、

少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定するにあたり、

実体格子型のモアレ光学系に、パターンピッチを変更可能とした格子パターンを用い、

光学系と被検物との相対運動と、格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、

受光素子としてラインセンサカメラを用いて得られたモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することを特徴とする形状測定方法。

【請求項5】 前記受光素子は、ラインセンサカメラを含むことを特徴とする請求項1～請求項3のうちのいずれか1項に記載の形状測定装置。

【請求項6】 前記受光素子として、エリアセンサカメラの任意の1列を用いることを特徴とする請求項4に記載の形状測定方法。

【請求項7】 前記受光素子は、エリアセンサカメラを含み且つその任意の1列を用いることを特徴とする請求項1～請求項3のうちのいずれか1項に記載の形状測定装置。

【請求項8】 モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、

前記受光素子は画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面は前記格子パターン面と平行面上に配置されており、

前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される平面状被検物表面も格子パターン面と平行に且つ同一距離に配置され、

また、前記画素列は、前記平面状被検物表面上の異なる個所を視野としており

、その異なる視野に対応する格子パターンのピッチもそれぞれ異なり、

さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検面の相対位置関係を前記受光素子の配列方向に沿って移動させる機構を有し、前記受光素子の各画素列が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、

そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することを特徴とする形状測定装置。

【請求項 9】 モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において

前記受光素子は画素を集積した画素列を 3 列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面は前記格子パターン面と平行面上に配置されており、

前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も前記画素列方向に平行であり、

また、前記画素列は、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、その異なる視野に対応する格子パターンのピッチもそれぞれ異なり、

さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、その回転による前記受光素子の各画素列が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、

そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することを特徴とする形状測定装置。

【請求項 10】 モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフト

したモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、

前記受光素子は、画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面は、前記格子パターン面と平行面上に配置されており、

前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も画素列方向に平行であり、

また、前記画素列は、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、その異なる視野に対応する格子パターンのピッチもそれぞれ異なり、

さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、その回転による前記受光素子の各画素列が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、

そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することを特徴とする形状測定装置。

【請求項11】 モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、

前記受光素子は画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面は格子パターン面と平行面上に配置されており、

平面状被検物表面は、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置され、前記平行面に対して前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向には傾斜を有しており、

また、前記各画素列は、それぞれ格子パターンから異なる距離の前記平面状被検物表面を視野としており、

さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検面との相対位置関係を前記被検面の傾斜方向に移動させる機構を有し、前記各受光素子が視野とする前記被検物上の

観測点と格子の距離がそれぞれ異なり、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み

そのデータと位相シフト法の計算式とから平面状被検面の形状を測定することを特徴とする形状測定装置。

【請求項 1 2】 モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において、

前記受光素子は、画素を集積した画素列を 3 列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面は、格子パターン面と平行面上に配置されており、

円筒状被検物は、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置され、その軸方向は画素列方向に平行であり、

また、前記各画素列は、それぞれ格子パターンから異なる距離の前記円筒状被検物表面を視野としており、

さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、前記各受光素子が視野とする前記被検物上の観測点と格子の距離がそれぞれ異なり、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、

そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定することを特徴とする形状測定装置。

【請求項 1 3】 モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において、

前記受光素子は画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面は格子パターン面と平行面上に配置されており、

円筒状被検物は、格子パターンを挟んで受光素子とは反対側に配置され、その軸方向は画素列方向に平行であり、

また、前記画素列は、それぞれ格子パターンから異なる距離の円筒状被検物表面を視野としており、

さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、前記各受光素子が視野とする前記被検物上の観測点と格子の距離がそれぞれ異なり、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、

そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定することを特徴とする形状測定装置。

【請求項14】 モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、

前記受光素子は画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、

平面状被検物表面は格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に、前記画素列の画素面と平行に且つ同一距離に配置され、

前記格子パターン面は、前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向には傾斜を有して配置されており、

また、前記画素列は、それぞれ前記格子パターンから異なる距離の前記平面状被検物表面を視野としており、

さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検面の相対位置関係を受光素子の傾斜方向に移動させる機構を有し、前記光学系と前記平面状被検物の相対位置関係を変化させながら前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、

そのデータと位相シフト法の計算式とから平面状被検面の形状を測定することを特徴とする形状測定装置。

【請求項 1 5】 モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において、

前記受光素子は画素を集積した画素列を 3 列以上平行に配置した構成からなり

、
円筒状被検物は、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に、その軸方向を前記画素列方向に平行として配置され、

前記格子パターン面は、前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向に傾斜を有して配置されており、

また、前記画素列は、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており

、
さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、前記光学系と前記円筒状被検物の相対位置関係を変化させながら前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、

そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定することを特徴とする形状測定装置。

【請求項 1 6】 モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において、

前記受光素子は画素を集積した画素列を 3 列以上平行に配置した構成からなり

円筒状被検物は、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に、その軸方向を前記画素列方向に平行として配置され、

前記格子パターン面は、前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向に傾斜を有して配置されており、

また、前記画素列は、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており

さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、前記光学系と前記円筒状被検物の相対位置関係を変化させながら前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、

そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定することを特徴とする形状測定装置。

【請求項 17】 前記受光素子として 3 列以上のラインを持ったラインセンサを用いることを特徴とする請求項 4 に記載の形状測定方法。

【請求項 18】 前記受光素子は、3 列以上のラインを持ったラインセンサを含むことを特徴とする請求項 8 ～請求項 16 のうちのいずれか 1 項に記載の形状測定装置。

【請求項 19】 前記受光素子としてエリアセンサカメラを用い、その任意の 3 列以上のデータから前記位相シフト法の計算式を用いて被検査対象面の形状を測定することを特徴とする請求項 4 に記載の形状測定方法。

【請求項 20】 前記受光素子はエリアセンサカメラを含み、且つその任意の 3 列以上のデータから前記位相シフト法の計算式を用いて前記被検査対象面の形状を測定することを特徴とする請求項 8 ～請求項 16 のうちのいずれか 1 項に記載の形状測定装置。

【請求項 21】 前記格子パターンとして、液晶素子を用いることを特徴とする請求項 4、請求項 6、請求項 17 および請求項 19 のうちのいずれか 1 項に記載の形状測定方法。

【請求項 22】 前記格子パターンは、液晶素子を含むことを特徴とする請求項 1 ～請求項 3、請求項 5、請求項 7 ～請求項 16、請求項 18 および請求項 20 のうちのいずれか 1 項に記載の形状測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、被検物の表面形状の測定およびそれにより被検物表面のキズ、膨らみ、うねり、へこみ等の欠陥を検出するための方法および装置に係り、特に例えば部品認識のためのロボットビジョン等に好適な被検物表面の形状測定方法、形状測定装置およびこれら形状測定方法および形状測定装置に用いられる信号処理装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

被検物表面の形状検査または測定に関する従来の技術としては、例えば、円筒状被検物の検査方法について開示された特開平2-201142号公報および特開平4-169840号公報、位相シフト法とモアレ法を用いた三次元測定方法について開示された特許第2887517号公報、特開平7-332956号公報および特開平10-54711号公報、さらには、「位相シフトによる実体格子型モアレ法」について開示された1991年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集および「液晶ガラスのフラットネス計測」について開示されたO p l u s E、1996年9月(N o . 202)、等に記載されたものがある。

すなわち、複写機あるいはレーザープリンタの感光体ドラムなどの円筒状被検物の従来の欠陥検査方法としては、例えば特開平2-201142号公報あるいは特開平4-169840号公報に開示された技術がある。図35は、特開平2-201142号公報に開示された検査方法を示している。図35において、光源1031からのレーザ光ビーム1032を、回転多面鏡1036を介して感光体ドラム1033の軸方向に走査するように照射させる。走査光は、感光体ドラム1033の感光層表面にて反射され、正常な表面からの反射光は、ほぼ受光器1035に入射して、反射光の強度が検出され、その出力は、所定の演算処理部等(図35には示されてはいない)に入力される。ここでの処理においては、検出値が異常に低下した時に、表面状態の異常があるものとして検出される。

【0003】

また、図 3 6 は、特開平 4 - 1 6 9 8 4 0 号公報に開示された検査方法を示している。図 3 6 において、ハロゲン光源等を備えた投光器 1 0 4 1 から感光体ドラム 1 0 4 3 へ向けてスリット光 1 0 4 2 が投射される。感光体ドラム 1 0 4 3 の表面欠陥によって散乱された散乱光は、レンズ 1 0 4 4 によって集光され、ラインセンサ 1 0 4 5 で受光される。ラインセンサ 1 0 4 5 は、画素列を有し、その受光範囲は、感光体ドラム 1 0 4 3 表面上の 1 0 4 3 a で示される範囲である。ここでは、欠陥による散乱光の異常を検出している。

一般に、この種の感光体には、ピンホール、打痕、擦り傷、気泡の巻き込み、クラックおよびゴミ等の異物の付着による欠陥、並びに感光層の膜厚のムラ、液ダレおよび支持体の傷等のような多種多様な欠陥が生ずる可能性がある。

上述したような光学式検査装置によれば、ピンホール、打痕、擦り傷および異物の付着による欠陥のように表面の凹凸の変化率の大きな欠陥に対しては高い検出力を発揮することができるが、感光層の膜厚ムラ等のように凹凸の変化率の小さい欠陥、あるいは支持体の傷のように感光体表面に凹凸の変化のない欠陥に対しての検出精度には、問題があった。

【 0 0 0 4 】

一方、三次元測定法の 1 手法としてモアレ法が挙げられる。モアレ法には、実体格子型と格子投影型があり、様々な分野において広く利用されている。格子投影型のモアレ法とは、図 3 7 に示すように、投影用と観察用とに、それぞれ小さな格子 G 1 および G 2 を配置し、格子 G 1 をレンズ L 1 により物体に投影し、物体形状に応じて変形した格子線をレンズ L 2 を介してもう 1 つの格子 G 2 上に結像させ、縞等高線を基準面から所定距離のところに生じさせるようにしたものである。また、実体格子型のモアレ法とは、図 3 8 に示すように、基準面に単一の格子 G を設置し、図 3 7 のレンズ L 1 に相当する位置に点光源 S 1 を、レンズ L 2 に相当する位置に観察眼 e を置いて、前記格子 G の光源 S 1 による影を物体上に落とし、物体形状に応じて変形した格子 G の影を形成させてこれを格子 G を通して観察することにより、この格子 G と変形した格子の影とによって生じるモアレ縞を観測する方法である。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】

従来、これらのモアレ法による三次元形状測定法については、対象物を直観的に把握することはできるが、(1) 凹凸の判定がし難い、(2) 高感度の三次元測定には不向き（現時点ではモアレ縞等高線の間隔は $10\ \mu\text{m}$ 程度が限界とされている）、(3) モアレ縞のビジビリティーが縞毎に均一ではないためモアレ像を画像処理の対象として扱いにくい等々の問題が指摘されている。これらの問題に対しては、格子投影型の場合、2枚の格子を利用しているために、その一方を移動させて、縞走査、つまりモアレ縞の位相をシフト、させることによって、等高線間隔を等価的に細かく分割するとともに、対象の凹凸判定をすることや測定感度を向上させることが可能である。これに対して、実体格子型の場合には格子が1枚であるため、格子投影型のモアレ法のような位相シフトを行っても、すべての次数の縞等高線の位相を揃えながら位相を変えることはできない。

このような問題点に対して、例えば特第 2 8 8 7 5 1 7 号では、格子面の垂直移動と光源または観察点の水平移動とを、同時に行うことにより、各次数のモアレ縞の位相にほぼ大きな変化をきたすことなく、各次数の縞の位相がほぼ揃った状態で測定対象に対する縞位相のシフトができるので、複数枚の縞画像を縞走査法（位相シフト法）の原理に基いて処理することができる。

【0 0 0 6】

このようにすることによって測定対象に対するモアレ縞による測定点の密度が増大するとともに、モアレ縞1周期について約 $1/40 \sim 1/100$ 程度の物理的な分割が可能となり、実体格子型のモアレ法では、困難とされていた面の凹凸の判定や測定感度の向上を図ることができる。

しかしながら、このように位相シフト法を適用して円筒状被検物等の全面測定を行う場合には、少なくとも被検物を3回転以上させて位相シフトさせるために格子移動とモアレ縞の撮像を繰り返す必要があるため、測定に時間がかかる。また格子を複数方向（平行と回転）に移動させる必要があるため装置構成が複雑になる等の問題がある。

特開平 7 - 3 3 2 9 5 6 号公報や文献「位相シフトによる実体格子型モアレ法」（1991年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集）および「液晶ガラ

スのフラットネス計測」(O p l u s E 1996年9月)においては、平行光を与えることにより、縞次数による縞間隔の違いをなくしているため、全ての縞の位相を揃えながらシフトさせている。さらにこれらの方法では格子運動のみにより位相シフトさせることが可能である。

【0007】

しかしながら、依然として円筒状被検物等の全面測定を行う場合には、位相シフトした画像を得るために、格子移動と撮像という動作を繰り返し被検物を3回転以上させる必要があるため、測定時間の増大を招く。

また、特開平10-54711号公報に開示された技術においては、被検物の高さを変えることにより位相シフトさせているが、この場合においても、被検物の移動と撮像を複数回繰り返す必要があるため、測定時間の増大を招く。また凹凸形状の定量化に関しては明確な方法が十分に説明されていない。

本発明は、上述した事情に鑑みてなされたもので、ローラ部品等の円柱状被検物または液晶等の平面状被検物を対象として、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を適用し且つ1回の1連の撮像により位相シフトした画像を得ることにより、高速に形状測定を行うことを可能とし、その定量的な形状データから被検物表面の検査を行うことも可能とする形状測定方法、形状測定装置を提供することを目的としている。

【0008】

すなわち、本発明の請求項1の目的は、特に、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を効果的に適用し、平面状被検物の形状測定を短時間で実行可能な形状測定装置を提供することにある。

本発明の請求項2の目的は、特に、円筒状被検物全面の形状測定を短時間で実行可能な形状測定装置を提供することにある。

本発明の請求項3の目的は、特に、円筒状被検物全面の形状測定を短時間で実行可能な他の形状測定装置を提供することにある。

本発明の請求項4の目的は、特に、受光素子としてラインセンサを用い短時間で被検物の形状を短時間で測定し得る形状測定方法を提供することにある。

本発明の請求項5の目的は、特に、請求項1～請求項3のうちのいずれか1項

で用いる受光素子を好適な構成とした形状測定装置を提供することにある。

【0009】

本発明の請求項6の目的は、特に、受光素子としてエリアセンサ中の任意の1列を受光素子として用いる形状測定方法を提供することにある。

本発明の請求項7の目的は、特に、請求項1～請求項3のうちのいずれか1項で用いる受光素子を他の好適な構成とした形状測定装置を提供することにある。

本発明の請求項8の目的は、特に、平面状被検物全面の形状測定を短時間で行い得る形状測定装置を提供することにある。

本発明の請求項9の目的は、特に、円筒状被検物全面の形状測定を短時間で行い得る形状測定装置を提供することにある。

本発明の請求項10の目的は、特に、円筒状被検物全面の形状測定を短時間で行い得る他の形状測定装置を提供することにある。

【0010】

本発明の請求項11の目的は、特に、平面状被検物全面の形状測定を実現し得る形状測定装置を提供することにある。

本発明の請求項12の目的は、特に、円筒状被検物全面の形状測定を実現し得る形状測定装置を提供することにある。

本発明の請求項13の目的は、特に、円筒状被検物全面の形状測定を実現し得る形状測定装置を提供することにある。

本発明の請求項14の目的は、特に、平面状被検物全面の形状測定を実現し得る形状測定装置を提供することにある。

本発明の請求項15の目的は、特に、円筒状被検物全面の形状測定を実現し得る形状測定装置を提供することにある。

本発明の請求項16の目的は、特に、円筒状被検物全面の形状測定を実現し得る他の形状測定装置を提供することにある。

【0011】

本発明の請求項17の目的は、特に、ラインセンサを複数並べたものを受光素子に用いて高精度な形状測定を行い得る形状測定方法を提供することにある。

本発明の請求項18の目的は、特に、請求項8～請求項16のうちのいずれか

1項で用いる受光素子を好適な構成とした形状測定装置を提供することにある。

本発明の請求項19の目的は、特に、エリアセンサ中の任意の3列を受光素子に用いた形状測定方法を提供することにある。

本発明の請求項20の目的は、特に、請求項8～請求項16のうちのいずれか1項で用いる受光素子を他の好適な構成とした形状測定装置を提供することにある。

【0012】

本発明の請求項21の目的は、特に、請求項4、請求項6、請求項17および請求項19のうちのいずれか1項による形状測定で用いる格子パターンを好適なものに特定した形状測定方法を提供することにある。

本発明の請求項22の目的は、特に、請求項1～請求項3、請求項5、請求項7～請求項16、請求項18および請求項20のうちのいずれか1項による形状測定で用いる格子パターンを好適な構成とした形状測定装置を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】

請求項1に記載した本発明に係る形状測定装置は、上述した目的を達成するために、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子は画素を集積した画素列からなり、その画素面は前記格子パターン面と平行に且つ同一距離に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される平面状被検物表面も格子パターン面と平行面上に配置され、また、前記画素列は、前記平面状被検物表面上の同一個所を視野としており、その視野に対応する前記格子パターンは、パターンピッチを変更可能として、画素列の走査周期に同期してそのピッチが変化され、さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検物表面との相対位置関係を前記受光素子の配列方向に沿って移動させる

機構を有し、前記光学系と前記被検物との相対運動と、前記格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、前記受光素子で得られるモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することを特徴としている。

【 0 0 1 4 】

また、本発明の応用として、実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定するにあたり、前記モアレ縞をシフトさせた画像を入力するためにピッチの異なる格子パターンを用いる形状測定方法によっても、上記の目的を達成することができる。

また、本発明の応用として、前記形状測定方法が、実体格子型のモアレ光学系に、パターンピッチを変更可能とした格子パターンを用い、光学系と被検物との相対運動と、格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、受光素子で得られたモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定する形状測定方法によっても、上記の目的を達成することができる。

【 0 0 1 5 】

請求項2に記載した本発明に係る形状測定装置は、上述した目的を達成するために、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子は画素を集積した画素列からなり、その画素面は前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も画素列方向に平行であり、また、前記画素列は、前記円筒状被検物表面上の同一個所を視野としており、その視野に対応する前記格子パターンは、パターンピッチを変更可能として、画素列の走査周期に同期してそのピッチが変化され、さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し

、その回転による前記光学系と前記被検物との相対運動と、前記格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、前記受光素子で得られるモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することを特徴としている。

【 0 0 1 6 】

請求項 3 に記載した本発明に係る形状測定装置は、上述した目的を達成するために、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において、前記受光素子は画素を集積した画素列からなり、その画素面は前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も画素列方向に平行であり、また、前記画素列は、前記円筒状被検物表面上の同一個所を視野としており、その視野に対応する格子パターンは、パターンピッチを変更可能として、画素列の走査周期に同期してそのピッチが変化され、さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、その回転による前記光学系と前記被検物との相対運動と、前記格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、前記受光素子で得られるモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することを特徴としている。

【 0 0 1 7 】

請求項 4 に記載した本発明に係る形状測定方法は、実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定するにあたり、実体格子型のモアレ光学系に、パターンピッチを変更可能とした格子パターンを用い、光学系と被検物との相対運動と、格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、ラインセンサからなる受光素子で得られたモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とか

ら被検物の形状を測定することを特徴としている。

請求項 5 に記載した本発明に係る形状測定装置は、請求項 1 ～請求項 3 のうちのいずれか 1 項に記載の形状測定装置において、前記受光素子が、ラインセンサカメラからなることを特徴としている。

請求項 6 に記載した本発明に係る形状測定方法は、請求項 4 に記載の形状測定方法において、前記受光素子として、エリアセンサカメラの任意の 1 列を用いることを特徴としている。

【 0 0 1 8 】

請求項 7 に記載した本発明に係る形状測定装置は、請求項 1 ～請求項 3 のうちのいずれか 1 項に記載の形状測定装置において、前記受光素子が、エリアセンサカメラを含み且つその任意の 1 列を用いることを特徴としている。

尚、請求項 4 に記載の形状測定方法において、3 つ以上の受光素子を用い、各受光素子が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と被検物との相対位置関係を変化させながら、各受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定するようにしてもよい。

【 0 0 1 9 】

請求項 8 に記載した本発明に係る形状測定装置は、上述した目的を達成するために、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において、前記受光素子は画素を集積した画素列を 3 列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面は前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される平面状被検物表面も格子パターン面と平行に且つ同一距離に配置され、また、前記画素列は、前記平面状被検物表面上の異なる個所を視野としており、その異なる視野に対応する格子パターンのピッチもそれぞれ異なり、さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検面の相対位置関係

を前記受光素子の配列方向に沿って移動させる機構を有し、前記受光素子の各画素列が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することを特徴としている。

【 0 0 2 0 】

請求項 9 に記載した本発明に係る形状測定装置は、上述した目的を達成するために、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において、前記受光素子は画素を集積した画素列を 3 列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面は前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も前記画素列方向に平行であり、また、前記画素列は、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、その異なる視野に対応する格子パターンのピッチもそれぞれ異なり、さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、その回転による前記受光素子の各画素列が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することを特徴としている。

【 0 0 2 1 】

請求項 1 0 に記載した本発明に係る形状測定装置は、上述した目的を達成するために、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において、前記受光

素子は画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面は前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も画素列方向に平行であり、また、前記画素列は、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、その異なる視野に対応する格子パターンのピッチもそれぞれ異なり、さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、その回転による前記受光素子の各画素列が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することを特徴としている。

【0022】

尚、本発明に係る形状測定方法の応用としては、実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定するにあたり、3つ以上の受光素子を用い、各受光素子が視野としている被検物上の観測点と格子の距離がそれぞれ異なり、前記光学系と被検物の相対位置関係を変化させながら各受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定するようにしてもよい。

【0023】

請求項11に記載した本発明に係る形状測定装置は、上述した目的を達成するために、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子は画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面は格子パターン面と平行面上に配置されており、平面状被検物表面は、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置され、前記平行面に対して前記

受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向には傾斜を有しており、また、前記各画素列は、それぞれ格子パターンから異なる距離の前記平面状被検物表面を視野としており、さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検面との相対位置関係を前記被検面の傾斜方向に移動させる機構を有し、前記各受光素子が視野とする前記被検物上の観測点と格子の距離がそれぞれ異なっており、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから平面状被検面の形状を測定することを特徴としている。

【 0 0 2 4 】

請求項 1 2 に記載した本発明に係る形状測定装置は、上述した目的を達成するために、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において、前記受光素子は画素を集積した画素列を 3 列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面は格子パターン面と平行面上に配置されており、円筒状被検物は、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置され、その軸方向は画素列方向に平行であり、また、前記各画素列は、それぞれ格子パターンから異なる距離の前記円筒状被検物表面を視野としており、さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、前記各受光素子が視野とする前記被検物上の観測点と格子の距離がそれぞれ異なっており、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定することを特徴としている。

【 0 0 2 5 】

請求項 1 3 に記載した本発明に係る形状測定装置は、上述した目的を達成するために、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、

測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子は画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面は格子パターン面と平行面上に配置されており、円筒状被検物は、格子パターンを挟んで受光素子とは反対側に配置され、その軸方向は画素列方向に平行であり、また、前記画素列は、それぞれ格子パターンから異なる距離の円筒状被検物表面を視野としており、さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、前記各受光素子が視野とする前記被検物上の観測点と格子の距離がそれぞれ異なっており、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定することを特徴としている。

【0026】

尚、本発明に係る形状測定方法の応用として、実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定するにあたり、3つ以上の受光素子を用い、各受光素子と格子パターンとの距離が異なるように格子パターンが斜めに配置されており、前記光学系と被検物の相対位置関係を変化させながら各受光素子でモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから前記被検物の形状を測定するようにしてもよい。

【0027】

請求項14に記載した本発明に係る形状測定装置は、上述した目的を達成するために、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子は画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、平面状被

検物表面は格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に、前記画素列の画素面と平行に且つ同一距離に配置され、前記格子パターン面は、前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向には傾斜を有して配置されており、また、前記画素列は、それぞれ前記格子パターンから異なる距離の前記平面状被検物表面を視野としており、さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検面の相対位置関係を受光素子の傾斜方向に移動させる機構を有し、前記光学系と前記平面状被検物の相対位置関係を変化させながら前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから平面状被検面の形状を測定することを特徴としている。

【 0 0 2 8 】

請求項 1 5 に記載した本発明に係る形状測定装置は、上述した目的を達成するために、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において、前記受光素子は画素を集積した画素列を 3 列以上平行に配置した構成からなり、円筒状被検物は、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に、その軸方向を前記画素列方向に平行として配置され、前記格子パターン面は、前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向に傾斜を有して配置されており、また、前記画素列は、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、前記光学系と前記円筒状被検物の相対位置関係を変化させながら前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定することを特徴としている。

【 0 0 2 9 】

請求項 1 6 に記載した本発明に係る形状測定装置は、上述した目的を達成するために、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ

光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子は画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、円筒状被検物は、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に、その軸方向を前記画素列方向に平行として配置され、前記格子パターン面は、前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向に傾斜を有して配置されており、また、前記画素列は、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、前記光学系と前記円筒状被検物の相対位置関係を変化させながら前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定することを特徴としている。

【0030】

請求項17に記載した本発明に係る形状測定方法は、請求項4または請求項6のいずれかに記載の形状測定方法において、前記受光素子として3列以上のラインを持ったラインセンサを用いることを特徴としている。

請求項18に記載した本発明に係る形状測定装置は、請求項8～請求項16のいずれか1項に記載の形状測定装置において、前記受光素子が、3列以上のラインを持ったラインセンサを含むことを特徴としている。

請求項19に記載した本発明に係る形状測定方法は、請求項4または請求項6のいずれかに記載の形状測定方法において、前記受光素子としてエリアセンサカメラを用い、その任意の3列以上のデータから前記位相シフト法の計算式を用いて被検査対象面の形状を測定することを特徴としている。

請求項20に記載した本発明に係る形状測定装置は、請求項8～請求項16のうちのいずれか1項に記載の形状測定装置において、前記受光素子はエリアセンサカメラを含み、且つその任意の3列以上のデータから前記位相シフト法の計算式を用いて前記被検査対象面の形状を測定することを特徴としている。

【0031】

尚、本発明の応用として、上述した目的を達成するために、請求項8～請求項

20のうちのいずれか1項に記載された方法または装置に好適な、各画素列データを記憶するラインバッファと、それらのデータから位相シフト法の計算を行うための位相演算回路と、被検物全面の形状データを記憶しておくためのフレームメモリとを具備する信号処理装置を提供することもできる。

請求項21に記載した本発明に係る形状測定方法は、請求項4、請求項6、請求項17および請求項19のうちのいずれか1項に記載の形状測定方法において、前記格子パターンとして、液晶素子を用いることを特徴としている。

請求項22に記載した本発明に係る形状測定装置は、請求項1～請求項3、請求項5、請求項7、請求項8～請求項16、請求項18および請求項20のうちのいずれか1項に記載の形状測定装置において、前記格子パターンが、液晶素子を含むことを特徴としている。

【0032】

【作用】

【0033】

すなわち、本発明の請求項1による形状測定装置は、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列からなり、その画素面が前記格子パターン面と平行に且つ同一距離に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される平面状被検物表面も格子パターン面と平行面上に配置され、また、前記画素列が、前記平面状被検物表面上の同一個所を視野としており、その視野に対応する前記格子パターンが、パターンピッチを変更可能として、画素列の走査周期に同期してそのピッチを変化され、さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検物表面との相対位置関係を前記受光素子の配列方向に沿って移動させる機構を有し、前記光学系と前記被検物との相対運動と、前記格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、前記受光素子で得られるモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とか

ら被検物の形状を測定する。

このような構成により、光学系と被検物の相対関係を2軸方向に移動させる機構を設けているため、平面状被検物全面の測定を行うことができる。

【0034】

本発明の請求項2による形状測定装置は、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列からなり、その画素面が前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も画素列方向に平行であり、また、前記画素列が、前記円筒状被検物表面上の同一個所を視野としており、その視野に対応する前記格子パターンが、パターンピッチを変更可能として、画素列の走査周期に同期してそのピッチを変化され、さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、その回転による前記光学系と前記被検物との相対運動と、前記格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、前記受光素子で得られるモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定する。

【0035】

このような構成により、円筒状被検物を回転させる機構および光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を短時間で行うことができる。

尚、上記請求項1および2に記載の発明の形状測定の応用方法として、実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定するにあたり、前記モアレ縞をシフトさせた画像を入力するためにピッチの異なる格子パターンを用いるようにしてもよい。

このようにすることにより、測定範囲をある縞次数近辺に限定し、格子パターンピッチを変化させてモアレ縞の位相シフトを行うことにより、実体格子型モアレ法に位相シフト法を適用して高精度な形状測定を行なうことができる。したがって、例えばローラ部品等の円柱状被検物または液晶等の平面状被検物を対象として、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を適用し且つ1回の1連の撮像により位相シフトした画像を得ることにより、高速に形状測定を行うことを可能とし、その定量的な形状データから被検物表面の検査を行うことも可能とし、特に、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を効果的に適用することを従来とは異なる方法により可能とする。

【 0 0 3 6 】

また、上記の前記形状測定方法が、実体格子型のモアレ光学系に、パターンピッチを変更可能とした格子パターンを用い、光学系と被検物との相對運動と、格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、受光素子で得られたモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定する。

このようにすることにより、実体格子型モアレ法に位相シフト法を適用し被検物の形状測定を行う際、光学系と被検物の相對移動速度と受光素子の走査周期と格子パターンのピッチ変化周期を同期させて行うことにより、1回の1連の撮像により位相シフトした画像が得られるため、測定時間を短くすることができる。すなわち、従来のように、機械的動作を伴う位相シフト動作と被検物の撮像を繰り返す必要がなくなる。したがって、特に、形状測定を高速化することが可能となる。

【 0 0 3 7 】

本発明の請求項3による形状測定装置は、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列からなり、その画素面が前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟

んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も画素列方向に平行であり、また、前記画素列が、前記円筒状被検物表面上の同一個所を視野としており、その視野に対応する格子パターンは、パターンピッチを変更可能として、画素列の走査周期に同期してそのピッチが変化され、さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、その回転による前記光学系と前記被検物との相対運動と、前記格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、前記受光素子で得られるモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定する。

このような構成により、光学系を円筒状被検物の周りに回転させる機構および光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を短時間で行うことができる。

【 0 0 3 8 】

したがって、請求項4による形状測定方法は、実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定するにあたり、実体格子型のモアレ光学系に、パターンピッチを変更可能とした格子パターンを用い、光学系と被検物との相対運動と、格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、受光素子としてラインセンサカメラを用いて得られたモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定する。

このようにすることにより、特に、受光素子を好適なものに特定することができる。

本発明の請求項5による形状測定装置は、前記受光素子が、ラインセンサカメラを含んでいる。

このような構成により、特に、請求項1～請求項3のうちのいずれか1項で用いる受光素子を好適な構成とすることができる。

本発明の請求項6による形状測定方法は、前記受光素子として、エリアセンサカメラの任意の1列を用いる。

このようにすることにより、特に、受光素子を他の好適なものに特定すること

ができる。

【0039】

本発明の請求項7による形状測定装置は、前記受光素子が、エリアセンサカメラを含み且つその任意の1列を用いる。

このような構成により、特に、請求項1～請求項3のうちのいずれか1項で用いる受光素子を他の好適な構成とすることができる。

本発明の応用に係る形状測定方法は、3つ以上の受光素子を用い、各受光素子が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と被検物との相対位置関係を変化させながら、各受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定する。

このようにすることにより、実体格子型モアレ法に位相シフト法を適用し被検物の形状測定を行う際に、例えば、3列以上の受光素子を用い、それぞれの受光素子が視野とする格子パターンのピッチを変化させることによって、1回の1連の撮像により位相シフトした画像が得られるため、測定時間を短くすることができ、今までのように、機械的動作を伴う位相シフトと被検物の撮像を繰り返す必要がなくなる。

したがって、この測定方法によっても形状測定を、高速化することが可能となる。

【0040】

本発明の請求項8による形状測定装置は、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面が前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される平面状被検物表面も格子パターン面と平行に且つ同一距離に配置され、また、前記画素列が、前記平面状被検物表面上の異なる個所を視野としており、その異なる視

野に対応する格子パターンのピッチもそれぞれ異なり、さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検面の相対位置関係を前記受光素子の配列方向に沿って移動させる機構を有し、前記受光素子の各画素列が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定する。

このように、光学系と被検物の相対関係を2軸方向に移動させる機構を設けているため、平面状被検物全面の測定を行うことができる。したがって、本発明の【0041】

請求項9による形状測定装置は、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面が前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も前記画素列方向に平行であり、また、前記画素列が、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、その異なる視野に対応する格子パターンのピッチもそれぞれ異なり、さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、その回転による前記受光素子の各画素列が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定する。

このように、円筒状被検物を回転させる機構と、光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構とを設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。

【0042】

本発明の請求項10による形状測定装置は、モアレ縞を発生させるための光源

および格子パターン並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面が前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も画素列方向に平行であり、また、前記画素列が、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、その異なる視野に対応する格子パターンのピッチもそれぞれ異なり、さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、その回転による前記受光素子の各画素列が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定する。

このような構成により、光学系を円筒状被検物の周りに回転させる機構および光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。したがって、特に、円筒状被検物全面の形状を短時間で測定することが可能となる。

【0043】

本発明の形状測定の応用方法として、実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定するにあたり、3つ以上の受光素子を用い、各受光素子が視野としている被検物上の観測点と格子の距離がそれぞれ異なり、前記光学系と被検物の相対位置関係を変化させながら各受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定する。

このようにすることにより、実体格子型モアレ法に位相シフト法を適用し被検物の形状測定を行うにあたり、3つ以上の受光素子を用い、各受光素子が視野と

している被検物上の観測点と格子の距離を変えることによって、1回の1連の撮像により位相シフトした画像が得られるため、測定時間を短くすることができ、今までのように、機械的動作を伴う位相シフトと被検物の撮像を繰り返す必要がなくなる。したがって、特に、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を効果的に適用し得る、形状測定のためのさらなる高速化が可能となる。

【 0 0 4 4 】

本発明の請求項 1 1 による形状測定装置は、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面が格子パターン面と平行面上に配置されており、平面状被検物表面が、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置され、前記平行面に対して前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向には傾斜を有しており、また、前記各画素列が、それぞれ格子パターンから異なる距離の前記平面状被検物表面を視野としており、さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検面との相対位置関係を前記被検面の傾斜方向に移動させる機構を有し、前記各受光素子が視野とする前記被検物上の観測点と格子の距離がそれぞれ異なっており、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから平面状被検面の形状を測定する。

このように、光学系と被検物の相対関係を2軸方向に移動させる機構を設けているため、平面状被検物全面の測定を短時間で行うことができる。

【 0 0 4 5 】

本発明の請求項 1 2 による形状測定装置は、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なく

とも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面が格子パターン面と平行面上に配置されており、円筒状被検物が、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置され、その軸方向が画素列方向に平行であり、また、前記各画素列が、それぞれ格子パターンから異なる距離の前記円筒状被検物表面を視野としており、さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、前記各受光素子が視野とする前記被検物上の観測点と格子の距離がそれぞれ異なっており、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定する。

このような構成により、円筒状被検物を回転させる機構および光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。

【 0 0 4 6 】

本発明の請求項13による形状測定装置は、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面が格子パターン面と平行面上に配置されており、円筒状被検物が、格子パターンを挟んで受光素子とは反対側に配置され、その軸方向は画素列方向に平行であり、また、前記画素列が、それぞれ格子パターンから異なる距離の円筒状被検物表面を視野としており、さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、前記各受光素子が視野とする前記被検物上の観測点と格子の距離がそれぞれ異なっており、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検

面の形状を測定する。

このような構成により、光学系を円筒状被検物の周りに回転させる機構および光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。

【0047】

本発明の形状測定の応用方法として、実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定するにあたり、3つ以上の受光素子を用い、各受光素子と格子パターンとの距離が異なるように格子パターンが斜めに配置されており、前記光学系と被検物の相対位置関係を変化させながら各受光素子でモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから前記被検物の形状を測定するようにしてもよい。

このようにすることにより、実体格子型モアレ法に位相シフト法を適用し被検物の形状測定を行うにあたり、例えば、3列以上の受光素子を用い、受光素子面と被検物面に対し格子パターン面を斜めに置くことによって、1回の1連の撮像により位相シフトした画像が得られるため、測定時間を短くすることができ、今までのように、機械的動作を伴う位相シフトと被検物の撮像を繰り返す必要がなくなる。したがって、特に、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を効果的に適用し得る他の基本原理に基づき、形状測定のさらなる高速化が可能となる。

【0048】

本発明の請求項14による形状測定装置は、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、平面状被検物表面が格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に、前記画素列の画素面と平行に且つ同一距離に配置され、前記格

子パターン面が、前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向には傾斜を有して配置されており、また、前記画素列が、それぞれ前記格子パターンから異なる距離の前記平面状被検物表面を視野としており、さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検面の相対位置関係を受光素子の傾斜方向に移動させる機構を有し、前記光学系と前記平面状被検物の相対位置関係を変化させながら前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから平面状被検面の形状を測定する。

【 0 0 4 9 】

このような構成により、光学系と被検物の相対関係を2軸方向に移動させる機構を設けているため、平面状被検物全面の測定を行うことができる。

本発明の請求項15による形状測定装置は、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、円筒状被検物が、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に、その軸方向を前記画素列方向に平行として配置され、前記格子パターン面が、前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向に傾斜を有して配置されており、また、前記画素列が、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、前記光学系と前記円筒状被検物の相対位置関係を変化させながら前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定する。

このような構成により、円筒状被検物を回転させる機構および光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。

【 0 0 5 0 】

本発明の請求項16による形状測定装置は、モアレ縞を発生させるための光源

および格子パターン並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、円筒状被検物が、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に、その軸方向を前記画素列方向に平行として配置され、前記格子パターン面が、前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向に傾斜を有して配置されており、また、前記画素列が、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、前記光学系と前記円筒状被検物の相対位置関係を変化させながら前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定する。

このような構成により、光学系を円筒状被検物の周りに回転させる機構と、光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構とを設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。

【0051】

本発明の請求項17による形状測定方法は、前記受光素子として3列以上のラインを持ったラインセンサを用いる。

このようにすることにより、受光素子を好適なものに特定することができる。

本発明の請求項18による形状測定装置は、前記受光素子が、3列以上のラインを持ったラインセンサを含んでいる。

このような構成により、特に、請求項8～請求項16のうちのいずれか1項で用いる受光素子を好適な構成とすることができる。

本発明の請求項19による形状測定方法は、前記受光素子としてエリアセンサカメラを用い、その任意の3列以上のデータから前記位相シフト法の計算式を用いて被検査対象面の形状を測定する。

このようにすることにより、受光素子を他の好適なものに特定することができる。

【 0 0 5 2 】

本発明の請求項 2 0 による形状測定装置は、前記受光素子がエリアセンサカメラを含み、且つその任意の 3 列以上のデータから前記位相シフト法の計算式を用いて前記被検査対象面の形状を測定する。

このような構成により、特に、請求項 8 ～請求項 1 6 のうちのいずれか 1 項で用いる受光素子を他の好適な構成とすることができる。

本発明の応用として、各画素列データを記憶するラインバッファと、それらのデータから位相シフト法の計算を行うための位相演算回路と、被検物全面の形状データを記憶しておくためのフレームメモリとをもって信号処理装置を構成してもよい。

このような構成により、ラインバッファを使用するので、必要なメモリの容量を減らすことができる。したがって、特に、請求項 8 ～請求項 2 0 のうちのいずれか 1 項の方法または装置による形状測定において信号処理に用いることが可能となる。

【 0 0 5 3 】

本発明の請求項 2 1 による形状測定方法は、前記格子パターンとして、液晶素子を用いる。

このように格子パターンに液晶を用いることにより、格子パターンピッチの変更にあたり、格子パターンそのものを交換したり移動させることなく、電氣的に容易に変更することができる。したがって、特に、請求項 4、請求項 6、請求項 1 7 および請求項 1 9 のうちのいずれか 1 項による形状測定で用いる格子パターンを、より好適なものとすることができる。

本発明の請求項 2 2 による形状測定装置は、前記格子パターンが、液晶素子を含んでいる。

このような構成により、格子パターンに液晶を用いて、格子パターンそのものを交換したり移動させることなく、格子パターンピッチを、電氣的に容易に変更することができる。したがって、特に、請求項 1 ～請求項 3、請求項 5、請求項 7 ～請求項 1 6、請求項 1 8 および請求項 2 0 のうちのいずれか 1 項による形状測定で用いる格子パターンを好適な構成とすることができる。

【 0 0 5 4 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態に基づき、図面を参照して本発明の形状測定方法、形状測定装置について詳細に説明する。

本発明を実施の形態について説明するに先立ち、まず、本発明に係る原理について説明する。

〔モアレ三次元測定法の原理〕

最初に、本発明で用いるモアレ三次元測定法の原理を説明する。図2に示すような位置関係で、光源S1と対象物OBとの間に格子G1が、対象物OBと観察点S2との間に格子G2が配置されている。格子G1およびG2のピッチをs、光源S1と観察点S2との間の距離をdとする。図2のように同一平面内にある格子G1およびG2はいずれもピッチsを有するが、格子G1とG2とは面内で互いにεだけずれているものとする（格子ピッチの位相でいえば $2\pi\epsilon/s$ だけずれている）、光源S1および観察点S2と格子G1およびG2との間の距離を1、格子G1およびG2からの距離、すなわち高さをhとして、モアレ縞を数1であらわすことができる。

【 0 0 5 5 】

【数1】

$$\cos \frac{2\pi}{s} \left\{ \frac{dh - \epsilon(h+1)}{h+1} \right\}$$

形成される等高線としてのモアレ縞は、格子G1およびG2の格子面を基準（0次）として、格子面から離れるに従って、順次、1次、2次、…とカウントされる次数を持つ。そこで、縞次数Nのモアレ縞を $\cos 2\pi N$ とおくことによって得られる。その結果、第N次のモアレ等高線は、基準面から h_N だけ離れた次の数2で示される位置に形成されることになる。

【 0 0 5 6 】

【数2】

$$h_N = \frac{(N_s + \varepsilon) \cdot 1}{d - N_s - \varepsilon}$$

これは位置の座標 x を含んでおらず、縞次数 N によって (x にかかわらず) 定まる固有の値となっている。すなわち等高線が形成されることを示す。

図3に示すような構成をとった場合について検討する。図3の構成は、光源 S_1 を点光源とし、該点光源 S_1 から距離 d だけ離れた位置に観察点 S_2 を配置して、格子 G_1 および G_2 に相当する1枚の連続した格子 G (したがって、ずれ $\varepsilon = 0$ となる) を配置したものに相当する(「実体格子型」と称される)。この場合、ずれ $\varepsilon = 0$ であるので数2から、数3が成立する。

【0057】

【数3】

$$h_N = \frac{Nsl}{d - Ns}$$

但し、等高線とはいいながら、その間隔 $\Delta h_N = h_{N+1} - h_N$ は一定ではなく、次数 N によって異なってしまう。

〔位相シフト法〕

次に、位相シフト法について説明する。位相変調された縞画像は、図4に示すように、オフセットバイアスを a とし、振幅を b とするとともに、操作可能な位相を θ 、高さに相当する位相値を Φ とすれば、

$$\begin{aligned} I &= I(\theta) \\ &= a(x, y) + b(x, y) \cos(\Phi(x, y) + \theta) \end{aligned}$$

とあらわすことができる。

【0058】

ここで、求めたいのは、各点 (x, y) における位相 $\Phi(x, y)$ である。オフセットバイアス a および振幅 b は、表面の反射率や汚れなどで変化する未知数

成分であるので、位相 θ を 0 、 $\pi/2$ および π と変化させた場合の3つの縞画像

$$\begin{aligned} I_1 &= I(0) \\ &= a(x, y) + b(x, y) \cos(\Phi(x, y) + \theta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= I(\pi/2) \\ &= a(x, y) - b(x, y) \sin(\Phi(x, y) + \theta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_3 &= I(\pi) \\ &= a(x, y) - b(x, y) \cos(\Phi(x, y) + \theta) \end{aligned}$$

を生成する。

【0059】

【数4】

$$\Phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{I_3 - I_2}{I_1 - I_2} + \frac{\pi}{4}$$

数4により位相を算出すれば、反射率や汚れ成分を除去して、各点の位相 $\Phi(x, y)$ を求めることができる。

【0060】

上述した各式および図3からわかるように、実体格子型モアレ光学系に位相シフト法を適用しようとした場合、縞次数 N により縞間隔 Δh_n が異なる。よって、モアレ縞を位相シフトさせようとした場合、ある縞次数 n では、正確に位相シフトさせることができるが、その他の縞次数では、ずれてしまう。そこで、本発明の第1の実施の形態は、本発明の形状測定方法の実施の形態であって、測定範囲を、正確にシフトさせたい縞次数の高さを基準として数個の縞次数内に限定する。この場合、測定範囲の端でシフト誤差が最大になるので、そのシフト誤差による測定誤差が十分に小さくなるように測定範囲を設定する。このような手法に

よって、実体格子型モアレ光学系に位相シフト法を適用することが可能となる。

図5に示すように、位相をシフトさせるために格子パターンのピッチを Δs だけ変化させることを考える。移動前の $n+1$ 次のモアレ縞等高線は、数3に基づいて数5として得られる。

【0061】

【数5】

$$h_{n+1} = \frac{(n+1)sl}{d - (n+1)s}$$

但し、図5において、光源S1および観察点S2は格子Gから同一の距離にあり、光源S1と観察点S2との間の距離を d 、格子Gと観察点S2および光源S1との間の距離を l 、格子Gのピッチを s 、格子パターンのピッチ変化量を Δs とする。

次に、格子Gを移動させてモアレ縞をシフトさせることを考えると、シフト後の第 n 次のモアレ縞までの距離 h_n' は、数6であらわされる。

【0062】

【数6】

$$h_n' = \frac{n(s+\Delta s)l}{d - n(s+\Delta s)}$$

従って、図5に示すように格子移動前の第 n 次と第 $n+1$ 次のモアレ縞間の位相 Φ_n の位置に、格子移動後の第 n 次のモアレ縞があると仮定すると、次の数7が成立する。

【0063】

【数7】

$$h_n + (h_{n+1} - h_n) \left(\frac{\Phi_n}{2\pi} \right) = h_n'$$

この数7の式に数5および数6を代入して整理すると、数8が得られる。

【0064】

【数8】

$$\Delta s = \frac{s\Phi_n(ns-d)}{2\pi n\{(n+1)s-d\}-ns\Phi_n}$$

この数8の式により、格子パターンピッチ変化量 Δs と位相シフト量 Φ_n の関係が明らかになった。ここで、格子ピッチ $s = 83.3 \mu\text{m}$ 、距離 $l = 200 \text{ mm}$ および距離 $d = 70 \text{ mm}$ として、格子移動前の縞次数 $n = 3$ の縞を正確に 2π シフトさせることを考える。つまり、 $n = 3$ および $\Phi_3 = 2\pi$ とする。これらのパラメータを数8の式に代入すると、ピッチ変化量が、 $\Delta s = 27.8 \mu\text{m}$ となる。このピッチ変化量 Δs による格子移動前後のモアレ縞等高線の位置関係を図1に示す。この結果、位相 2π に相当する高さは $h_{2\pi} = 239.995 \mu\text{m}$ となる。また、図1からわかるように、移動前において、次数 $n = 4$ の高さでは正確に位相が 2π シフトするが、移動前の $n = 3$ および $n = 5$ の高さではシフト誤差 $\Delta\Phi(L) \pm 1$ が生じる。このシフト誤差が測定精度に影響を及ぼさない範囲に、測定範囲を限定する。

【0065】

格子パターンピッチの初期値を s 、数8の式において $\Phi_n = 0, \pi/2$ および π としたときの変化量 Δs を $\Delta s_0 (=0)$ 、 Δs_1 、 Δs_2 とすると、測定の手順としては、まず格子パターンピッチ $= s$ の状態でもアレ縞を撮像する（ステップ0）。

次に、格子パターンピッチ $= s + \Delta s_1$ として2回目のモアレ縞撮像を行い（ステップ1）、

さらに格子パターンピッチ $= s + \Delta s_2$ として3回目の撮像を行う（ステップ2）。

次に撮像した3枚の画像から数4の式を用いて円筒状被検物の形状を計算する。この定量的な形状データに基づいて、被検物表面に生じるうねりやへこみ等の欠陥検査や平坦度の検査を行う。

このように、測定範囲をある縞次数近辺に限定し、格子パターンピッチを変化させてモアレ縞の位相シフトを行うことにより、実体格子型モアレ法に位相シフト法を適用して高精度な形状測定を行なうことができる。

【0066】

上述した本発明の第1の実施の形態に係る方法においては、格子パターンのピッチを変えて3回の撮像を行う必要がある。そこで、本発明の第2の実施の形態は、1回の1連の撮像で位相シフトさせた画像を取得する方法を提供する。以下、この第2の実施の形態について説明する。図6に示すように、ピッチ可変な格子パターンVPと受光素子PRを用いる。ここで、格子パターンピッチの初期値を s 、数8の式において $\Phi_n = 0, \pi/2$ および π としたときの変化量 Δs を、それぞれ $\Delta s_0 (=0)$ 、 Δs_1 および Δs_2 とする。

図6の(a)に示すように、まず時刻 $t = t_1$ において格子パターンピッチを s として平面上被検物OBFの領域1を撮像する(ステップ0面)。次に、図6の(b)に示すように、時刻 t_2 において、格子パターンピッチも $s + \Delta s_1$ に変化させて、領域2を撮像し(ステップ1面)、さらに図6の(c)に示すように、時刻 t_3 において格子パターンピッチを $s + \Delta s_2$ として領域3を撮像する(ステップ2面)。

【0067】

すなわち、光学系と平面状被検物との相対位置を変えながら撮像を行っていく。撮像領域および格子パターンピッチの変化と撮像のタイミングとの関係を図7の(a)と(b)にそれぞれ示している。このようにして得られる画像データを模式的に表現すると、図8のようになるので、最初の3列目までのデータと上述した数4の式を用いて領域1～3の形状測定を行ない、3列目から5列目までのデータと数4を用いて領域3～5の形状測定を行なうという具合に、順次測定を行う。この定量的な形状データに基づいて、被検物表面に生じるうねりやへこみ等の欠陥検査や平坦度の検査を行う。

この手法では、例えば領域1～3のように連続した3領域における形状変化が必要な測定精度に対して充分無視できるレベルであるときに適用できる。このような手法を用いることにより、位相シフトさせた画像を得るために平面状被検物上の同じ個所を何度も撮像する必要がなくなる。なお、ここでは、3ステップの位相シフト法に関して述べたが、このステップ数3というのは、位相シフト法を適用するために必要な最小ステップ数であり、さらにステップ数を増やして測定

精度を向上させることも可能である。

このように、実体格子型モアレ法に位相シフト法を適用して被検物の形状測定を行う際に、光学系と被検物の相対移動速度と受光素子の走査周期と格子パターンのピッチ変化周期とを同期させることにより、1回の1連の撮像により位相シフトした画像を得ることができるため、測定時間を短くすることができる。また、従来のように、機械的動作を伴う位相シフト動作と被検物の撮像とを何度も繰り返す必要がなくなる。

【0068】

〔請求項1に関連する実施の形態〕

本発明の第3の実施の形態は、上述した本発明の第2の実施の形態に係る方法を用いて平面状被検物を測定するための形状測定装置に係るものであって、請求項1に対応する。第3の実施の形態に係る形状測定装置の測定ヘッドの基本構成を図9に示す。図9において、測定ヘッド10は、光源11、格子パターン12、レンズ13および受光素子14を有して構成されている。上記第2の実施の形態に係る方法により形状測定される被検物15が平面状である場合、図10に示すように光学系を含む測定ヘッド10と平面状被検物15の相対関係を、図6に示された方向だけでなく、図6の方向とは異なる方向に移動させるための機構を含む駆動機構として、図10に示すように例えばXY自動ステージ16をさらに設ける。そして、ある領域での測定が終了したら、平面状被検物15に対して光学系を含む測定ヘッド10の位置を移動させて同様の測定を繰り返すことによって、平面状被検物全面の測定を行う。このような構成によって、測定ヘッド10と平面状被検物15との間の距離を一定に保ち且つ測定範囲を限定しながら、平面状被検物15の全面についての測定が可能となる。図10のように光学系を含む測定ヘッド10を動かす代わりに、平面状被検物15側に類似した移動機構を設けて移動させるようにしてもよく、結果として両者の相対関係を変化させる機構があればよい。

このようにして、第2の実施の形態に相当する方法を平面状被検物に適用する場合に、光学系と被検物との相対関係を2軸方向に移動させる機構を設けているため、平面状被検物全面の測定を行うことができる。

【 0 0 6 9 】

〔請求項 2 に関連する実施の形態〕

本発明の第 4 の実施の形態は、上述した第 2 の実施の形態に対応する方法を用いて円筒状被検物を測定するための形状測定装置に係るものであって、請求項 2 に対応する。第 4 の実施の形態に係る形状測定装置の測定ヘッドの基本構成は、図 9 と同様である。第 2 の実施の形態に係る方法により形状測定される被検物が円筒状である場合、光学系を含む測定ヘッド 1 0 と円筒状被検物の相対関係を、上述した第 3 の実施の形態において、図 6 に示された平行移動に代えて図 1 1 に示すような回転移動とする。すなわち、被検物 1 7 が円筒状である時には、図 1 1 に示されるように、円筒状被検物 1 7 を (a), (b), (c), ... と順次回転させながら撮像を行なう。この場合の撮像領域および格子パターンピッチの変化、並びに撮像のタイミングは、図 7 の (a) 並びに (b) と同様である。また、得られた画像データから第 2 の実施の形態に対応する方法に従って位相計算を行う。このような手法を用いれば、位相シフトさせた画像を得るためには、円筒状被検物 1 7 を 1 回転させるだけでよい。

このようにして、第 2 の実施の形態に相当する方法を円筒状被検物に適用する場合に、円筒状被検物を回転させる機構および光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。

【 0 0 7 0 】

〔請求項 3 に関連する実施の形態〕

本発明の第 5 の実施の形態は、上述した第 2 の実施の形態に対応する方法を用いて円筒状被検物を測定するための形状測定装置に係るものであって、請求項 3 に対応する。すなわち、第 4 の実施の形態に係る形状測定装置においては、円筒状被検物 1 7 を回転運動させるようにしたが、光学系を含む測定ヘッド 1 0 を円筒状被検物 1 7 の周りで回転させるようにしても同様の測定を行うことが可能であり、これが本発明の請求項 3 に対応する第 5 の実施の形態に係る形状測定装置である。

このようにして、第 2 の実施の形態に相当する方法を円筒状被検物に適用する場合に、図示は省略したが、光学系を円筒状被検物の周りで回転させる機構およ

び光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。

【 0 0 7 1 】

〔請求項 4 および請求項 5 に関連する実施の形態〕

本発明の第 6 の実施の形態は、第 2 の実施の形態に係る形状測定方法および第 3 ～第 5 の実施の形態に係る形状測定装置における受光素子 1 4 にラインセンサを用いるものであって、請求項 4 および請求項 5 に対応する。

このように、受光素子としてラインセンサを用いることによって、第 2 ～第 5 の実施の形態において示した形状測定方法または形状測定装置を比較的簡易に実現することができる。

【 0 0 7 2 】

〔請求項 6 および請求項 7 に関連する実施の形態〕

本発明の第 7 の実施の形態は、第 2 の実施の形態に係る形状測定方法および第 3 ～第 5 の実施の形態に係る形状測定装置における受光素子 1 4 にエリアセンサを用いるものであって、請求項 6 および請求項 7 に対応する。すなわち、受光素子 1 4 にエリアセンサを使用して、そのうちの任意の 1 列を用いる。この場合は、一般的な NTSC の 30 フレーム/秒にとらわれないプログレッシブカメラ等の高速カメラを用いたほうが、測定時間を短くすることができる。

このように、受光素子としてエリアセンサの任意の 1 列を用いることによって、第 2 ～第 5 の実施の形態において示した形状測定方法または形状測定装置を比較的短時間で測定可能することが可能な形状測定方法または形状測定装置を実現することができる。

【 0 0 7 3 】

次に、本発明の第 8 の実施の形態について述べる。本発明の第 8 の実施の形態は、1 回の 1 連の撮像で位相シフトさせた画像を取得するための第 2 の実施の形態とは異なる方法による形状測定方法を提供するものである。この形状測定方法においては、図 1 2 に示すように 3 列以上の画素列を持った構成の受光素子 1 8 を用いる。この受光素子 1 8 を用いて、図 1 3 のような構成とする。すなわち、図 1 3 の (a) に示すように、受光素子 1 8 および格子パターン 1 9 を有する。

受光素子 18、格子パターン 19 および平面状被検物 15 は、それぞれの面が平行となるように配置する。受光素子 18 の画素列 A、B および C は、平面状被検物 15 すなわちワーク上の異なる位置を視野としており、それらの視野に対応する格子パターン 19 のピッチが図 13 の (b) のように異なる。

【0074】

つまり、格子パターンピッチの初期値を s とし、数 8 において $\Phi_n = 0, \pi/2$ および π としたときの変化量 Δs を、それぞれ $\Delta s_0 (=0)$ 、 Δs_1 、 Δs_2 とすると、画素列 A に対応する格子パターンピッチは s (ステップ 0)、画素列 B に対応する格子パターンピッチは $s + \Delta s_1$ (ステップ 1)、画素列 C に対応する格子パターンピッチは $s + \Delta s_2$ (ステップ 2) とする。各画素列に所望のシフト量が与えられるように、被検物 15 の送りスピード、並びに受光素子 18 の走査周期、撮像倍率および画素列間距離等を調節する。

図 14 に示すように、測定手順は、まず、(a) のように、時刻 t_1 において画素列 A で領域 3 (ステップ 0) を、画素列 B で領域 2 (ステップ 1) を、そして画素列 C で領域 1 (ステップ 2) をそれぞれ撮像する。次に、(b) のように、時刻 t_2 においては、画素列 A で領域 4 (ステップ 0) を、画素列 B で領域 3 (ステップ 1) を、そして画素列 C で領域 2 (ステップ 2) をそれぞれ撮像する。さらに、(c) のように、時刻 t_3 では、画素列 A で領域 5 (ステップ 0) を、画素列 B で領域 4 (ステップ 1) を、そして画素列 C で領域 3 (ステップ 2) をそれぞれ撮像する。その結果、画像メモリ上に図 15 に示すようなデータが得られる。そこで、時刻 t_1 の画素列 A のデータ、時刻 t_2 の画素列 B のデータ、時刻 t_3 の画素列 C のデータと数 4 式とから領域 3 の形状測定を行うことができる。

【0075】

このような定量的な形状データに基づいて被検物表面に生じる、うねりやへこみ等の欠陥検査や平坦度の検査を行う。ここでは、3 ステップの位相シフト法に関して述べたが、このステップ数は、位相シフト法を適用するために必要な最小ステップ数であり、さらに多くの画素列を持った受光素子を用いてステップ数を増やし測定精度を向上させることも可能である。

このように、実体格子型モアレ法に位相シフト法を適用して被検物の形状測定を行う際に、3列以上の受光素子を用い、それぞれの受光素子列が視野とする格子パターンピッチを変化させることにより、1回の1連の撮像により位相シフトした画像が得られるため、測定時間を短くすることができる。したがって、従来のように、機械的動作を伴う位相シフトと被検物の撮像とを繰り返す必要がなくなる。

【0076】

〔請求項8に関連する実施の形態〕

本発明の第9の実施の形態は、上述した第8の実施の形態に対応する方法を用いて平面状被検物を測定するための形状測定装置に係るものであって、請求項8に対応する。第9の実施の形態に係る形状測定装置の測定ヘッドの基本構成も第3の実施の形態と同様にして、図9に示すように、光源11、格子パターン12、レンズ13および受光素子14を有して構成される測定ヘッド10を用いる。第8の実施の形態に係る方法により形状測定される被検物15が平面状である場合にも、図10に示すように光学系を含む測定ヘッド10と平面状被検物15の相対関係を、図6に示された方向だけでなく、図6の方向とは異なる方向に移動させるための機構を含む駆動機構として、例えばXY自動ステージ16をさらに設ければよい。そして、この場合にも、ある領域での測定が終了したら、平面状被検物15に対して光学系を含む測定ヘッド10の位置を移動させて同様の測定を繰り返すことによって、平面状被検物全面の測定を行う。このような構成によって、測定ヘッド10と平面状被検物15との間の距離を一定に保ち且つ測定範囲を限定しながら、平面状被検物15の全面についての測定が可能となる。また、図10のように光学系を含む測定ヘッド10を動かす代わりに、平面状被検物15側に類似した移動機構を設けて移動させるようにしてもよく、結果として両者の相対関係を変化させる機構があればよい。

このようにして、第8の実施の形態に相当する方法を平面状被検物に適用する場合に、光学系と被検物との相対関係を2軸方向に移動させる機構を設けているため、平面状被検物全面の測定を行うことができる。

【0077】

〔請求項9に関連する実施の形態〕

本発明の第10の実施の形態は、上述した第8の実施の形態に対応する方法を用いて円筒状被検物を測定するための形状測定装置に係るものであって、請求項9に対応する。第8の実施の形態に係る方法により形状測定される被検物が円筒状である場合、光学系を含む測定ヘッドと円筒状被検物の相対関係を、上述した第9の実施の形態に関して図6に示された平行移動に代えて、図11に示すような回転移動とする。すなわち、被検物が円筒状である時には、図16に示すような構成とすればよい。円筒状被検物17をチャック21で固定し、そのチャック21を、回転モータを含む回転機構22で回転させることにより円筒状被検物17全周の測定を行う。さらに、光学系を含む測定ヘッド23を円筒状被検物17の軸方向に移動させる機構として、例えば自動ステージ24、を設けることにより、円筒状被検物17全面の測定を行う。この場合、図17および図18に示すように、受光素子18、格子パターン19および円筒状被検物17の位置関係を設定し、画素列A、BおよびCの視野に対応して格子パターン19のピッチを変化させてやる。ここで、格子パターンピッチ s の変化量 Δs は、第8の実施の形態と同じように位相 Φ が $\pi/2$ ずつ変化するように設定する。

【0078】

すなわち、図17の(a)に示すように、受光素子18および格子パターン19を有する。受光素子18および格子パターン19の面と、円筒状被検物17の軸線は、それぞれ平行となるように配置する。受光素子18の画素列A、BおよびCは、円筒状被検物17、すなわちワーク上の異なる位置を視野としており、それらの視野に対応する格子パターン19のピッチが図17の(b)のように異なる。つまり、格子パターンピッチの初期値を s とし、数8において $\Phi_n = 0$ 、 $\pi/2$ および π としたときの変化量 Δs を、それぞれ $\Delta s_0 (=0)$ 、 Δs_1 および Δs_2 とすると、画素列Aに対応する格子パターンピッチは s (ステップ0)、画素列Bに対応する格子パターンピッチは $s + \Delta s_1$ (ステップ1)、画素列Cに対応する格子パターンピッチは $s + \Delta s_2$ (ステップ2)とする。

また、各画素列に所望のシフト量が与えられるように、円筒状被検物17の送りスピード、並びに受光素子18の走査周期、撮像倍率および画素列間距離等を

調節する。

【0079】

測定手順および演算方法は、第8の実施の形態と同様である。すなわち、測定手順は、図18に示すように、まず、(a)のように、時刻 t_1 において画素列Aで領域3(ステップ0)を、画素列Bで領域2(ステップ1)を、そして画素列Cで領域1(ステップ2)をそれぞれ撮像する。次に、(b)のように、時刻 t_2 においては、画素列Aで領域4(ステップ0)を、画素列Bで領域3(ステップ1)を、そして画素列Cで領域2(ステップ2)をそれぞれ撮像する。さらに、(c)のように、時刻 t_3 では、画素列Aで領域5(ステップ0)を、画素列Bで領域4(ステップ1)を、そして画素列Cで領域3(ステップ2)をそれぞれ撮像する。その結果、画像メモリ上に図15に示すようなデータが得られる。そこで、時刻 t_1 の画素列Aのデータ、時刻 t_2 の画素列Bのデータ、時刻 t_3 の画素列Cのデータと数4式とから領域3の形状測定を行うことができる。

【0080】

ところで、円筒状被検物の場合、図18からわかるように画素列A、BおよびCに対応する円筒状被検物17の高さが異なってしまう。つまり、格子パターンピッチ s の他に、第1の実施の形態に関連して述べたようにワーク高さが変化するという要素も加わってくる。その対処方法としてはワーク高さ変化が無視できるくらいデータ間隔を十分小さくするか、あるいは、ワーク高さ変化を考慮して Δs を調整する等の対処方法が考えられる。

例えば、図19に示すように、領域1~3の間隔 $m=30\mu\text{m}$ (各領域幅 $10\mu\text{m}$)、円筒状被検物17の半径 $r=15\text{mm}$ 、とすると間隔 m における高低差 x は、次の数9から求められる。

【0081】

【数9】

$$r^2 = (r - x)^2 + m^2$$

すなわち数9の式から高低差 x は、 $7.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ となり、測定すべき高低差が数 μm であれば、無視できるレベルである。

このようにして、第8の実施の形態に相当する方法を円筒状被検物に適用する

場合に、円筒状被検物を回転させる機構および光学系を円筒状被検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。

【0082】

〔請求項10に関連する実施の形態〕

本発明の第11の実施の形態は、上述した本発明の第8の実施の形態に対応する方法を用いて円筒状被検物を測定するための形状測定装置に係るものであって、請求項10に対応する。すなわち、第11の実施の形態に係る形状測定装置においては、円筒状被検物17を回転運動させるようにしたが、光学系を含む測定ヘッド23を円筒状被検物17の周りで回転させるようにしても同様の測定を行うことが可能であり、これが本発明の請求項10に対応する第11の実施の形態に係る形状測定装置である。

このようにして、第8の実施の形態に相当する方法を円筒状被検物に適用する場合に、光学系を円筒状被検物の周りで回転させる機構および光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。

【0083】

次に、本発明の第12の実施の形態について述べる。本発明の第12の実施の形態は、1回の1連の撮像で位相シフトさせた画像を取得するための上述した第2および第8の実施の形態とは異なる方法による形状測定方法を提供するものである。

例えば、数3において、 $l = 200\text{ mm}$ 、 $d = 70\text{ mm}$ 、 $s = 83.3\text{ }\mu\text{ m}$ (12 本/mm)とした場合、数3の式よりモアレ縞等高線 h_N は、図20のようになる。ここで、被検物の基準高さを縞次数 $n = 3$ の位置に、測定範囲を $n = 2 \sim 4$ の約 $480\text{ }\mu\text{ m}$ の範囲に設定したとすると、 $\Delta h_2 = 239.423\text{ }\mu\text{ m}$ 、 $\Delta h_3 = 239.995\text{ }\mu\text{ m}$ の差は $0.572\text{ }\mu\text{ m}$ とわずかであり、高低差が数 $\mu\text{ m}$ 程度のうねりやへこみを測定するには問題のないレベルであるといえる。

測定手順としては、まず基準高さで被検物の撮像を行い、次に被検物の高さを縞位相が $\pi/2$ シフトする高さに移動させ2回目の撮像を行い、さらにもう $\pi/$

2 シフトする高さに移動させ 3 回目の撮像を行う。そして、この 3 枚の画像と数 4 の式を用いて被検物の形状測定を行う。しかしながら、このようにすると、被検物の高さを変えて 3 回の撮像を行う必要がある。

【 0 0 8 4 】

そこで、1 回の 1 連の撮像で位相シフトさせた画像を取得する方法について述べる。図 1 2 のように 3 列以上の画素列を持った構成の受光素子を用いる。この受光素子を用いて、図 2 1 のような受光素子 1 8、格子パターン 1 9 および平面状被検物 1 5 の配置構成とする。すなわち、受光素子 1 8、格子パターン 1 9 および平面状被検物 1 5 について、受光素子面と格子パターン面は平行であるが、平面状被検物 1 5 は、その面に対して、受光素子の画素が配列されている画素列に沿う方向には傾斜を持たないが画素列が並列に配列される方向（列方向）に傾斜を持っている。このような構成により、図 2 2 に示すように、画素列 A、B および C は、ワーク上の異なる高さを視野にすることができる。ここで、画素列 A、B および C の視野に対して、図 2 0 に関連して述べたような所望のステップ量が与えられるように、平面状被検物 1 5 の送りスピード、並びに受光素子の走査周期、撮像倍率および画素列間距離を調節する。

【 0 0 8 5 】

すなわち、測定手順は、図 2 2 に示すように、まず、(a) のように、時刻 t_1 において画素列 A で領域 3（ステップ 0）を、画素列 B で領域 2（ステップ 1）を、画素列 C で領域 1（ステップ 2）をそれぞれ撮像する。次に、図 2 2 の (b) のように、時刻 t_2 においては、画素列 A で領域 4（ステップ 0）を、画素列 B で領域 3（ステップ 1）を、画素列 C で領域 2（ステップ 2）をそれぞれ撮像する。さらに、図 2 2 の (c) のように、時刻 t_3 では画素列 A で領域 5（ステップ 0）を、画素列 B で領域 4（ステップ 1）を、画素列 C で領域 3（ステップ 2）をそれぞれ撮像する。その結果、画像メモリ上に図 1 5 のようなデータが得られる。そこで、時刻 t_1 の画素列 A のデータ、時刻 t_2 の画素列 B のデータ、時刻 t_3 の画素列 C のデータおよび数 4 の式から領域 3 の形状測定を行うことができる。

このような定量的な形状データに基づいて被検物表面に生じるうねりやへこみ

等の欠陥検査や平坦度の検査を行う。ここでは、3ステップの位相シフト法に関して述べたが、このステップ数は、位相シフト法を適用するために必要な最小ステップ数であり、さらに多くの画素列を持った受光素子を用いてステップ数を増やし測定精度を向上させることも可能である。

【0086】

このように、実体格子型モアレ法に位相シフト法を適用し被検物の形状測定を行う際に、3列以上の受光素子を用い、各受光素子列が視野としている被検物上の観測点と格子パターンとの距離を変えることにより、1回の1連の撮像により位相シフトした画像が得られるため、測定時間を短くすることができる。従って、従来のように、機械的動作を伴う位相シフトと被検物の撮像とを繰り返す必要がなくなる。

【0087】

〔請求項11に関連する実施の形態〕

本発明の第13の実施の形態は、上述した第12の実施の形態に対応する方法を用いて平面状被検物を測定するための形状測定装置に係るものであって、請求項11に対応する。第13の実施の形態に係る形状測定装置の測定ヘッドは第12の実施の形態について示したのと同様、図21に示すように受光素子18および格子パターン19を配置して構成される。この場合、図21には示していないが、第3の実施の形態と同様に図9に示すようにして、光源11およびレンズ13等が設けられる。第12の実施の形態に係る方法により形状測定される被検物15が平面状である場合にも、図10に示すように光学系を含む測定ヘッド10と平面状被検物15の相対関係を、図22に示された方向だけでなく、図22の方向とは異なる方向に移動させるための機構を含む駆動機構として、例えばXY自動ステージ16をさらに設ければよい。

【0088】

そして、この場合にも、ある領域での測定が終了したら、平面状被検物15に対して光学系を含む測定ヘッド10の位置を移動させて同様の測定を繰り返すことによって、平面状被検物全面の測定を行う。このような構成によって、測定ヘッド10と平面状被検物15との間の距離を一定に保ち且つ測定範囲を限定しな

がら、平面状被検物 15 の全面についての測定が可能となる。

また、図 10 のように光学系を含む測定ヘッド 10 を動かす代わりに、平面状被検物 15 側に類似した移動機構を設けて移動させるようにしてもよく、結果として両者の相対関係を変化させる機構があればよい。

このようにして、第 12 の実施の形態に相当する方法を平面状被検物に適用する場合に、光学系と被検物との相対関係を 2 軸方向に移動させる機構を設けているため、平面状被検物全面の測定を行うことができる。

【0089】

〔請求項 12 に関連する実施の形態〕

本発明の第 14 の実施の形態は、上述した第 12 の実施の形態に対応する方法を用いて円筒状被検物を測定するための形状測定装置に係るものであって、請求項 12 に対応する。この第 14 の実施の形態に係る形状測定装置の測定ヘッドは図 23 に示すように、受光素子 18 および格子パターン 19 を配置して構成される。この場合も、図 23 には示していないが、第 3 の実施の形態に関して図 9 に示したのと同様に、光源 11 およびレンズ 13 等が設けられる。第 12 の実施の形態に係る方法により形状測定される被検物が円筒状である場合、光学系を含む測定ヘッドと円筒状被検物の相対関係を、上述した第 13 の実施の形態に関して図 22 に示された平行移動に代えて図 24 に示すような回転移動とする。すなわち、被検物が円筒状である時には、先に述べたように図 16 に示すような構成を用いればよい。円筒状被検物 17 をチャック 21 で固定し、そのチャック 21 を、回転モータを含む回転機構 22 で回転させることにより円筒状被検物全周の測定を行う。さらに、光学系を含む測定ヘッド 23 を円筒状被検物 17 の軸方向に移動させる機構として、例えば自動ステージ 24、を設けることにより、円筒状被検物全面の測定を行う。

【0090】

この場合、図 23 および図 24 に示すように、受光素子 18、格子パターン 19 および円筒状被検物 17 の位置関係を設定し、被検物が円筒状であることを利用して、画素列 A、B、C の視野に対応する高さを変化させてやる。ここで、画素列 A、B および C の視野に対して、図 20 に関連して述べたような所望のステ

ップ量が与えられるように、円筒状被検物 17 の回転スピード、並びに受光素子の走査周期、撮像倍率および画素列間距離を調節する。

次に、測定手順を図 24 を参照して説明する。すなわち、まず、図 24 の (a) のように、時刻 t_1 において画素列 A で領域 3 (ステップ 0) を、画素列 B で領域 2 (ステップ 1) を、画素列 C で領域 1 (ステップ 2) をそれぞれ撮像し、次に、図 24 の (b) のように、時刻 t_2 において、画素列 A で領域 4 (ステップ 0) を、画素列 B で領域 3 (ステップ 1) を、画素列 C で領域 2 (ステップ 2) をそれぞれ撮像し、さらに、図 24 の (c) のように、時刻 t_3 で画素列 A で領域 5 (ステップ 0) を、画素列 B で領域 4 (ステップ 1) を、画素列 C で領域 3 (ステップ 2) をそれぞれ撮像すると、結果として、画像メモリ上に図 15 のようなデータが得られる。

そこで、時刻 t_1 の画素列 A のデータ、時刻 t_2 の画素列 B のデータ、時刻 t_3 の画素列 C のデータおよび数 4 の式から領域 3 の形状測定を行うことができる。

このようにして、第 12 の実施の形態に相当する方法を円筒状被検物に適用する場合に、円筒状被検物を回転させる機構および光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。

【0091】

〔請求項 13 に関連する実施の形態〕

本発明の第 15 の実施の形態は、上述した第 12 の実施の形態に対応する方法を用いて円筒状被検物を測定するための形状測定装置に係るものであって、請求項 13 に対応する。すなわち、第 14 の実施の形態に係る形状測定装置においては、図 16 に示すように円筒状被検物 17 を回転運動させるようにしたが、光学系を含む測定ヘッド 23 を円筒状被検物 17 の周りで回転させるようにしても同様の測定を行うことが可能であり、これが本発明の請求項 13 に対応する第 15 の実施の形態に係る形状測定装置である。

このようにして、第 12 の実施の形態に相当する方法を円筒状被検物に適用する場合に、光学系を円筒状被検物の周りで回転させる機構および光学系を円筒被

検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。

【0092】

次に、本発明の第16の実施の形態について述べる。本発明の第16の実施の形態は、1回の1連の撮像で位相シフトさせた画像を取得するための上述した第2、第8および第12の実施の形態とは異なる方法による形状測定方法を提供するものである。

図25に示すように、位相をシフトさせるために格子パターンの位置を光軸方向に $\Delta 1$ だけ変化させることを考える。移動前の $n+1$ 次のモアレ縞等高線は、先に述べた数3に基づいて次の数10の式であらわすことができる。

【0093】

【数10】

$$h_{n+1} = \frac{(n+1)s_1}{d - (n+1)s}$$

但し、図25において、光源および観察点は格子から同距離にあり、光源と観察点との間の距離を d 、格子と観察点および光源との間の距離を l 、格子のピッチを s および格子の移動量を $\Delta 1$ とする。

次に、格子を移動させてモアレ縞をシフトさせることを考えると、シフト後の第 n 次の縞までの距離 h_n' は、次の数11の式であらわされる。

【0094】

【数11】

$$h_n' = \frac{ns(1 + \Delta 1)}{d - ns}$$

したがって、図25に示すように格子移動前の第 n 次のモアレ縞と第 $n+1$ 次のモアレ縞との間の位相 Φ_n の位置に、格子移動後の第 n 次のモアレ縞があると仮定すると、次の数12の式が成り立つ。

【0095】

【数12】

$$h_n + (h_{n+1} - h_n) \left(\frac{\Phi_n}{2\pi} \right) = h_n' + \Delta l$$

この式に数10および数11の各式を代入して整理すると数13の式が得られる。

【0096】

【数13】

$$\Delta l = \frac{ls\Phi_n}{2\pi \{d - (n+1)s\}}$$

この数13の式により、格子移動量 Δl と位相シフト量 Φ_n の関係が明らかになった。ここで、 $s = 83.3 \mu\text{m}$ 、 $l = 200 \text{mm}$ および $d = 70 \text{mm}$ とし、格子移動前の縞次数 $n = 3$ の縞を正確に 2π だけ位相シフトさせることを検討する。つまり、 $n = 3$ および $\Phi_3 = 2\pi$ とする。これらのパラメータを数13の式に代入すると、 $\Delta l = 239.138 \mu\text{m}$ となる。この Δl による格子移動前後のモアレ縞等高線の位置を図26に示す。この結果位相 2π に相当する高さ $h_{2\pi} = 239.995 \mu\text{m}$ となる。また、図26からわかるように、移動前 $n = 4$ の高さでは正確に位相が 2π シフトするが、移動前 $n = 3$ 、 $n = 5$ の高さではシフト誤差 $\Delta\Phi(L)_{\pm 1}$ が生じる。その絶対値は等しく、数14となる。

【0097】

【数14】

$$|\Delta\Phi(L)_{\pm 1}| = 0.286 (\mu\text{m})$$

2π に相当する高さ $h_{2\pi} = 239.995 (\mu\text{m})$ であるので、シフト誤差 $\Delta\Phi(L)_{\pm 1}$ を位相(rad)であらわせれば、数15となる。

【0098】

【数15】

$$|\Delta\Phi_{\pm 1}| = 2\pi \times \frac{0.286}{239.995} = 7.48 \times 10^{-3} (\text{rad})$$

このシフト誤差は、測定範囲を格子移動前の $n = 4$ の高さを基準高さとし、その上下 $\pm 240 \mu\text{m}$ の範囲に限定すれば、高さ分解能 $1 \mu\text{m}$ レベル ($2.61 \times$

10^{-2} (rad) の測定を考えた場合には、十分に小さいということができる。図 10 に示したような構成により、ラインセンサカメラを用いて平面状被検物のモアレ縞を撮像した場合には、平面状被検物の位置が常にほぼ同じ高さになるため、測定位置を数個の縞次数内に限定することが可能である。

しかしながら、この場合には、先に述べたように格子パターンの高さを変えて 3 回の撮像を行う必要がある。そこで、図 12 に示したように 3 列以上の画素列を持った構成の受光素子を用いて、1 回の 1 連の撮像で位相シフトさせた画像を取得する方法について述べる。このような受光素子を用いて、図 27 に示すように、受光素子 18、格子パターン 19 および平面状被検物 15 を配置する構成とする。つまり、この場合、受光素子 18 面と平面状被検物 15 面は平行であるが、それら平行面に対して、格子パターン 19 面は、受光素子 18 の画素が配列されている各画素列に沿う方向には傾斜を持たないが、複数の画素列が並列に配列される方向について傾斜を有している。

【0099】

画素列 A、B および C は、ワーク、すなわち平面状被検物 15、上の異なる位置を視野としており、それらの視野に対応する格子パターン 19 の高さも、図 28 に示すように異なっている。先に述べた数 13 の式から理解されるように Φ_n と $\Delta 1$ の関係は線形であるので、各画素列 A、B および C に対して 1 が $\Delta 1 / 4$ ずつ変化するように、格子パターン 19 の傾き、平面状被検物 15 の送りスピード、並びに受光素子 18 の走査周期、撮像倍率および画素列間距離を調節する。

図 29 を参照して、測定手順を説明する。まず、図 29 の (a) のように、時刻 t_1 において画素列 A で領域 3 (ステップ 0) を、画素列 B で領域 2 (ステップ 1) を、そして画素列 C で領域 1 (ステップ 2) 撮像する。次に、図 29 の (b) のように、時刻 t_2 においては、画素列 A で領域 4 (ステップ 0 面) を、画素列 B で領域 3 (ステップ 1 面) を、そして画素列 C で領域 2 (ステップ 2 面) を撮像する。さらに、図 29 の (c) のように、時刻 t_3 においては、画素列 A で領域 5 (ステップ 0) を、画素列 B で領域 4 (ステップ 1) を、そして画素列 C で領域 3 (ステップ 2) を撮像する。

【0100】

その結果、画像メモリ上に図 1 5 に示すようなデータが得られる。そこで、時刻 t_1 の画素列 A のデータ、時刻 t_2 の画素列 B のデータおよび時刻 t_3 の画素列 C のデータと、数 4 の式とから領域 3 の形状測定を行うことができる。この定量的な形状データをもとにして被検物表面に生じるうねりやへこみ等の欠陥検査および平坦度の検査を行う。ここでは、3 ステップの位相シフト法について述べたが、このステップ数は、位相シフト法を適用するために必要な最小ステップ数であり、さらに多くの画素列を持った受光素子を用いてステップ数を増やし測定精度を向上させることも可能である。

このように、実体格子型モアレ法に位相シフト法を適用して被検物の形状測定を行う際に、3 列以上の受光素子を用い、且つ受光素子面と被検物面に対し格子パターン面を斜めに配置することにより、1 回の 1 連の撮像により位相シフトした画像が得られるため、測定時間を短くすることができる。したがって、従来のように、機械的動作を伴う位相シフトと被検物の撮像とを繰り返す必要がなくなる。

【 0 1 0 1 】

〔請求項 1 4 に関連する実施の形態〕

本発明の第 1 7 の実施の形態は、上述した第 1 6 の実施の形態に対応する方法を用いて平面状被検物を測定するための形状測定装置に係るものであって、請求項 1 4 に対応する。第 1 7 の実施の形態に係る形状測定装置の測定ヘッドは、第 1 6 の実施の形態について示したのと同様に、図 2 7 に示すように受光素子 1 8 および格子パターン 1 9 を配置して構成される。この場合、図 2 7 には示していないが、第 3 の実施の形態に係る図 9 と同様にして、光源 1 1 およびレンズ 1 3 等が設けられる。第 1 6 の実施の形態に係る方法により形状測定される被検物 1 5 が平面状である場合にも、図 1 0 に示すように光学系を含む測定ヘッド 1 0 と平面状被検物 1 5 の相対関係を、図 2 9 に示された方向だけでなく、図 2 9 の方向とは異なる方向に移動させるための機構を含む駆動機構として、例えば X Y 自動ステージ 1 6 をさらに設ければよい。そして、この場合にも、ある領域での測定が終了したら、平面状被検物 1 5 に対して光学系を含む測定ヘッド 1 0 の位置を移動させて同様の測定を繰り返すことによって、平面状被検物全面の測定を行

う。

【0102】

このような構成によって、測定ヘッド10と平面状被検物15との間の距離を一定に保ち且つ測定範囲を限定しながら、平面状被検物15の全面についての測定が可能となる。また、図10のように光学系を含む測定ヘッド10を動かす代わりに、平面状被検物15側に類似した移動機構を設けて移動させるようにしてもよく、結果として両者の相対関係を変化させる機構があればよい。

このようにして、請求項12に相当する方法を平面状被検物に適用する場合に、光学系と被検物との相対関係を2軸方向に移動させる機構を設けているため、平面状被検物全面の測定を行うことができる。

【0103】

〔請求項15に関連する実施の形態〕

本発明の第18の実施の形態は、上述した本発明の請求項15に対応する方法を用いて円筒状被検物を測定するための形状測定装置に係るものであって、請求項15に対応する。この第18の実施の形態に係る形状測定装置の測定ヘッドは、図30に示すように、受光素子18および格子パターン19を配置して構成される。この場合も、図30には示していないが、第3の実施の形態に関して図9に示したのと同様に、光源11およびレンズ13等が設けられる。第16の実施の形態に係る方法により形状測定される被検物が円筒状である場合、光学系を含む測定ヘッドと円筒状被検物の相対関係を、上述した第17の実施の形態に関して図29に示された平行移動に代えて図31に示すような回転移動とする。すなわち、被検物が円筒状である時には、先に述べたように図16に示すような構成を用いればよい。

【0104】

円筒状被検物17を図16に示すチャック21で固定し、そのチャック21を、回転モータを含む回転機構22で回転させることにより円筒状被検物全周の測定を行う。さらに、光学系を含む測定ヘッド23を円筒状被検物17の軸方向に移動させる機構として、図16に示すような例えば自動ステージ24、を設けることにより、円筒状被検物全面の測定を行う。この場合、図30および図31に

示すように、受光素子 1 8、格子パターン 1 9 および円筒状被検物 1 7 の位置関係を、格子パターン 1 9 が受光素子 1 8 の画素列面に対して斜めになるように設定し、被検物が円筒状であることを利用して、画素列 A、B、C の視野に対応する格子パターン面の高さを変化させてやる。ここで、画素列 A、B および C の視野に対して、図 2 8 に関連して述べたように、1 が所望のステップ量 $\Delta 1 / 4$ ずつ変化するように、格子パターン 1 9 の傾斜、円筒状被検物 1 7 の回転スピード、並びに受光素子の走査周期、撮像倍率および画素列間距離を調節する。

すなわち、図 3 1 を参照して測定手順を説明する。まず、図 3 1 の (a) に示すように、時刻 t_1 において画素列 A で領域 3 (ステップ 0) を画素列 B で領域 2 (ステップ 1) を、画素列 C で領域 1 (ステップ 2) をそれぞれ撮像する。

【0 1 0 5】

次に、図 3 1 の (b) に示すように、時刻 t_2 において、画素列 A で領域 4 (ステップ 0) を、画素列 B で領域 3 (ステップ 1) を、画素列 C で領域 2 (ステップ 2) をそれぞれ撮像し、さらに、図 3 1 の (c) に示すように、時刻 t_3 で画素列 A で領域 5 (ステップ 0) を、画素列 B で領域 4 (ステップ 1) を画素列 C で領域 3 (ステップ 2) をそれぞれ撮像する。このようにすると、結果として、画像メモリ上に図 1 5 のようなデータが得られる。そこで、時刻 t_1 の画素列 A のデータ、時刻 t_2 の画素列 B のデータ、時刻 t_3 の画素列 C のデータおよび数 4 の式から領域 3 の形状測定を行うことができる。

ところで、円筒状被検物の場合、図 3 1 からわかるように画素列 A、B および C に対応する円筒状被検物 1 7 の高さが異なってしまう。つまり、格子距離 1 の他に、第 1 0 の実施の形態の場合とほぼ同様に、ワーク高さが変化するという要素も加わってくる。その対処方法としては、ワーク高さ変化が無視できるくらいデータ間隔を十分小さくするか、あるいは、ワーク高さ変化を考慮して格子パターン 1 9 の傾斜を調整する等の対処方法が考えられる。

このようにして、第 1 6 の実施の形態に相当する方法を円筒状被検物に適用する場合に、円筒状被検物を回転させる機構および光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。

【 0 1 0 6 】

〔請求項 1 6 に関連する実施の形態〕

本発明の第 1 9 の実施の形態は、上述した本発明の第 1 6 の実施の形態に対応する方法を用いて円筒状被検物を測定するための形状測定装置に係るものであって、請求項 1 6 に対応する。すなわち、第 1 8 の実施の形態に係る形状測定装置においては、円筒状被検物 1 7 を回転運動させるようにしたが、光学系を含む測定ヘッド 2 3 を円筒状被検物 1 7 の周りで回転させるようにしても同様の測定を行うことが可能であり、これが本発明の請求項 1 6 に対応する第 1 9 の実施の形態に係る形状測定装置である。

このようにして、第 1 6 の実施の形態に相当する方法を円筒状被検物に適用する場合に、光学系を円筒状被検物の周りで回転させる機構および光学系を円筒被検物の軸方向に移動させる機構を設けているため、円筒状被検物全面の測定を行うことができる。

【 0 1 0 7 】

〔請求項 1 7 および請求項 1 8 に関連する実施の形態〕

本発明の第 2 0 の実施の形態は、第 8、第 1 2 および第 1 6 の実施の形態に係る形状測定方法、並びに第 9 ～第 1 1、第 1 3 ～第 1 5 および第 1 7 ～1 9 の実施の形態に係る形状測定装置における受光素子 1 4 にラインセンサを 3 列以上並べたものを用いるものであって、請求項 1 7 および請求項 1 8 に対応する。例えば、一般のカラー用の CCD（電荷結合素子）ラインセンサは、図 3 2 に示すように、赤色（Red）用、緑色（Green）用および青色（Blue）用の画素列が、所定間隔をあけて配置されている。この場合の色分解は、各画素前面に配置された色フィルタによって行なっているので、その色フィルタを外せば、モノクロ（単色濃淡）用の 3 ラインの画素列を構成することが可能である。あるいは、単純に 3 個のラインセンサを配列して用いてもよい。

このように、受光素子としてラインセンサを複数並べたものを用いることによって、第 8 ～第 1 9 の実施の形態において示した形状測定方法または形状測定装置を簡易に実現することができる。

【 0 1 0 8 】

〔請求項 1 9 および請求項 2 0 に関連する実施の形態〕

本発明の第 2 1 の実施の形態は、第 8、第 1 2 および第 1 6 の実施の形態に係る形状測定方法、並びに第 9 ～ 第 1 1、第 1 3 ～ 第 1 5 および第 1 7 ～ 1 9 の実施の形態に係る形状測定装置における受光素子 1 4 としてエリアセンサを用い、そのうちの任意の 3 列を利用するものであって、請求項 1 9 および請求項 2 0 に対応する。この場合、標準的な N T S C 規格の 3 0 フレーム／秒のインタレースシステムにとらわれずに、プログレッシブスキャンカメラ等の高速カメラを用いたほうが、測定時間を短くすることができる。

このように、受光素子としてエリアセンサの任意の 3 列を用いることによって、第 8 ～ 第 1 9 の実施の形態において示した形状測定方法または形状測定装置を簡易に実現することができる。

【 0 1 0 9 】

本発明の第 2 2 の実施の形態は、請求項 1 1 ～ 請求項 2 0 に対応する本発明の第 8 ～ 第 2 1 の実施の形態のうちのいずれかの形状測定方法または装置における信号処理に用いるのに好適な信号処理装置を提供するものであって、第 2 2 の実施の形態に対応する。

本発明の第 2 2 の実施の形態による信号処理装置について、3 列の受光素子を用いた場合を例にとって図 3 3 および図 3 4 を参照して説明する。この場合、信号処理装置は、ラインバッファ群 3 1、位相演算回路 3 2 およびフレームメモリ 3 3 を備える。ラインバッファ群 3 1 は、各画素列データを記憶するラインバッファ A 1 ～ A 3、B 1、B 2 および C 1 を有している。位相演算回路 3 2 は、ラインバッファ群 3 1 に格納されたデータから位相シフト法の計算を行う。フレームメモリ 3 3 は、被検物全面の形状データを記憶する。

【 0 1 1 0 】

図 3 3 に示すように、画素列 A (A 列) には、3 本のラインバッファ A 1 ～ A 3 を、画素列 B (B 列) には 2 本のラインバッファ B 1 ～ B 2 を、そして画素列 C (C 列) には 1 本のラインバッファ C 1 を、それぞれ設けて、ラインバッファ群 3 1 を構成する。本発明の第 8 ～ 第 2 1 の実施の形態 (請求項 8 ～ 請求項 2 0) の形状測定方法および装置の構成では、まず、図 3 4 の (a) に示すように、

時刻 t_1 において、ラインバッファA1に領域3のステップ0のデータが、ラインバッファB1に領域2のステップ1のデータが、そしてラインバッファC1に領域1のステップ2のデータをそれぞれ書き込む。次に、図34の(b)に示すように、時刻 t_2 において、ラインバッファA1のデータをラインバッファA2に上書き転送し、空いたラインバッファA1に領域4のステップ0のデータを書き込む。同様に、ラインバッファB1のデータをラインバッファB2に上書き転送し、空いたラインバッファB1に領域3のステップ1のデータを書き込み、ラインバッファC1には領域2のステップ2のデータを上書きする。次に、図34の(c)に示すように、時刻 t_3 では、ラインバッファA1のデータをラインバッファA2に、そしてラインバッファA2のデータをラインバッファA3にそれぞれ上書き転送し、空いたラインバッファA1に領域5のステップ0のデータを書き込む。

【0111】

同様にして、ラインバッファB1のデータをラインバッファB2に上書き転送し、空いたラインバッファB1に領域4のステップ1のデータを書き込み、ラインバッファC1には領域3のステップ2のデータを上書きする。

次に、図33に戻り、ラインバッファA3、B2およびC1のデータを位相演算回路32に送り、位相演算回路32では数4の式に基づいて領域3の位相を計算し、その結果をフレームメモリ33に格納する。このような処理をライン毎に繰り返し、被検物全面の測定を行う。このようなメモリ構成によれば、各画素列毎にフレームメモリを用意する必要がないので、メモリ容量を節約することができる。

このように、効果的なラインバッファの使用により、必要なメモリ容量を低減することができる。

【0112】

〔請求項21および請求項22に関連する実施の形態〕

本発明の第23の実施の形態は、本発明の第1～第21の実施の形態に係る形状測定方法および形状測定装置における格子パターンに液晶素子を用いるものであって、請求項21および請求項22に対応する。この構成は、特に、格子パタ

ーンのピッチ s を変化させ位相シフトさせる手法には有効である。なぜならば、第 8 ～ 第 11 の実施の形態（請求項 8 ～ 請求項 10）のように場所によってピッチを変化させたり、第 2 ～ 第 5 の実施の形態のように時系列でピッチを変えたりすることを、電気信号を与えるだけで設定することができる。また、その他の実施の形態において、測定対象の相違に対応して格子パターンピッチを変えて精度を変更させたいときなどにも、格子パターンそのものを交換する必要がなく、電気的な操作だけでそのピッチを変更することができる。

このように、格子パターンとして液晶素子を用いることによって、格子パターンそのものを交換したり移動させたりすることなく、格子パターンピッチを電氣的に容易に変更することができ、第 1 ～ 第 21 の実施の形態に示した形状測定方法または形状測定装置を簡易に実現することができる。

【0113】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、ローラ部品等の円柱状被検物または液晶等の平面状被検物を対象として、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を適用し且つ 1 回の 1 連の撮像により位相シフトした画像を得ることにより、高速に形状測定を行うことを可能とし、その定量的な形状データから被検物表面の検査を行うことも可能とする形状測定方法、形状測定装置を提供することができる。

【0114】

すなわち、本発明の請求項 1 の形状測定装置によれば、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも 3 つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を 3 次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列からなり、その画素面が前記格子パターン面と平行に且つ同一距離に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される平面状被検物表面も格子パターン面と平行面上に配置され、また、前記画素列が、前記平面状被検物表面上の同一個所を視野としており、その視野に対応する前記格子パタ

ーンが、パターンピッチを変更可能として、画素列の走査周期に同期してそのピッチを変化され、さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検物表面との相対位置関係を前記受光素子の配列方向に沿って移動させる機構を有し、前記光学系と前記被検物との相対運動と、前記格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なうて、前記受光素子で得られるモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することができ、特に、平面状被検物全面に対し、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を用いて短時間での形状測定を実現することが可能となる。

【0115】

本発明の請求項2の形状測定装置によれば、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列からなり、その画素面が前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も画素列方向に平行であり、また、前記画素列が、前記円筒状被検物表面上の同一個所を視野としており、その視野に対応する前記格子パターンが、パターンピッチを変更可能として、画素列の走査周期に同期してそのピッチを変化され、さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、その回転による前記光学系と前記被検物との相対運動と、前記格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なうて、前記受光素子で得られるモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を高速で測定することができ、特に、円筒状被検物全面に対し、実体格子型のモアレ法に位相シフト法を用いた高精度な形状測定を実現することが可能となる。

【0116】

本発明の請求項3の形状測定装置によれば、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素

子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列からなり、その画素面が前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も画素列方向に平行であり、また、前記画素列が、前記円筒状被検物表面上の同一個所を視野としており、その視野に対応する格子パターンは、パターンピッチを変更可能として、画素列の走査周期に同期してそのピッチが変化され、さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、その回転による前記光学系と前記被検物との相對運動と、前記格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、前記受光素子で得られるモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することにより、特に、円筒状被検物全面の短時間での形状測定を実現することが可能となる。

【0117】

本発明の請求項4の形状測定方法によれば、実体格子型のモアレ光学系を用い

特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、

少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定するにあたり、

実体格子型のモアレ光学系に、パターンピッチを変更可能とした格子パターンを用い、

光学系と被検物との相對運動と、格子パターンのピッチ変化とを同期させて行なって、

受光素子としてラインセンサカメラを用いて得られたモアレ縞の時系列データと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することにより、短時間で且つ簡易に被検物の形状測定を行うことができる。

【0118】

本発明の請求項5の形状測定装置によれば、前記受光素子として、ラインセンサカメラを使用することにより、短時間で且つ簡易に被検物の形状を測定することができる。

本発明の請求項6の形状測定方法によれば、前記受光素子として、エリアセンサカメラの任意の1列を用いることにより、特に、短時間で正確に被検物の形状を測定することができる。

本発明の請求項7の形状測定装置によれば、前記受光素子として、エリアセンサカメラを含み且つその任意の1列を用いることにより、短時間で正確に被検物の形状を測定することができる。

【0119】

本発明の請求項8の形状測定装置によれば、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面が前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される平面状被検物表面も格子パターン面と平行に且つ同一距離に配置され、また、前記画素列が、前記平面状被検物表面上の異なる個所を視野としており、その異なる視野に対応する格子パターンのピッチもそれぞれ異なり、さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検面の相対位置関係を前記受光素子の配列方向に沿って移動させる機構を有し、前記受光素子の各画素列が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することにより、特に、平面状被検物全面を短時間で測定することが可能となる。

【0120】

本発明の請求項9の形状測定装置によれば、モアレ縞を発生させるための光源

および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面が前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も前記画素列方向に平行であり、また、前記画素列が、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、その異なる視野に対応する格子パターンのピッチもそれぞれ異なり、さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、その回転による前記受光素子の各画素列が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を測定することにより、特に、円筒状被検物表面の形状を、短時間で高精度に測定することが可能となる。

【0121】

本発明の請求項10の形状測定装置によれば、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面が前記格子パターン面と平行面上に配置されており、前記格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置される円筒状被検物表面の軸方向も画素列方向に平行であり、また、前記画素列が、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、その異なる視野に対応する格子パターンのピッチもそれぞれ異なり、さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、その回転による前記受光素子の各画素列が視野とする格子パターンのピッチを変化させて、前記光学系と前記被検物

との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから被検物の形状を短時間で測定することが可能となる。

【0122】

本発明の請求項11の形状測定装置によれば、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面が格子パターン面と平行面上に配置されており、平面状被検物表面が、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置され、前記平行面に対して前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向には傾斜を有しており、また、前記各画素列が、それぞれ格子パターンから異なる距離の前記平面状被検物表面を視野としており、さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検面との相対位置関係を前記被検面の傾斜方向に移動させる機構を有し、前記各受光素子が視野とする前記被検物上の観測点と格子の距離がそれぞれ異なっており、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから平面状被検面の形状を測定することにより、特に、平面状被検物に対し、より一層の高速で形状測定を実現することが可能となる。

【0123】

本発明の請求項12の形状測定装置によれば、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上

平行に配置した構成からなり、その各画素面が格子パターン面と平行面上に配置されており、円筒状被検物が、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に配置され、その軸方向が画素列方向に平行であり、また、前記各画素列が、それぞれ格子パターンから異なる距離の前記円筒状被検物表面を視野としており、さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、前記各受光素子が視野とする前記被検物上の観測点と格子の距離がそれぞれ異なっており、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定することにより、特に、円筒状被検物全面を簡易に測定することが可能となる。

【0124】

本発明の請求項13の形状測定装置によれば、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、その各画素面が格子パターン面と平行面上に配置されており、円筒状被検物が、格子パターンを挟んで受光素子とは反対側に配置され、その軸方向は画素列方向に平行であり、また、前記画素列が、それぞれ格子パターンから異なる距離の円筒状被検物表面を視野としており、さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、前記各受光素子が視野とする前記被検物上の観測点と格子の距離がそれぞれ異なっており、前記光学系と前記被検物との相対位置関係を変化させながら、前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定することにより、特に、円筒状被検物全面の測定を短時間で行うことが可能となる。

【0125】

本発明の請求項14の形状測定装置によれば、モアレ縞を発生させるための光

源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、平面状被検物表面が格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に、前記画素列の画素面と平行に且つ同一距離に配置され、前記格子パターン面が、前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向には傾斜を有して配置されており、また、前記画素列が、それぞれ前記格子パターンから異なる距離の前記平面状被検物表面を視野としており、さらに当該モアレ光学系と前記平面状被検面の相対位置関係を受光素子の傾斜方向に移動させる機構を有し、前記光学系と前記平面状被検物の相対位置関係を変化させながら前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから平面状被検面の形状を測定することにより、特に、平面状被検物表面の形状を短時間で測定することが可能となる。

【 0 1 2 6 】

本発明の請求項15の形状測定装置によれば、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、円筒状被検物が、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に、その軸方向を前記画素列方向に平行として配置され、前記格子パターン面が、前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向に傾斜を有して配置されており、また、前記画素列が、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、さらに前記円筒状被検物を回転させる機構を有し、前記光学系と前記円筒状被検物の相対位置関係を変化させながら前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフ

ト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定することにより、特に、円筒状被検物全面の形状を測定することが可能となる。

【0127】

本発明の請求項16の形状測定装置によれば、モアレ縞を発生させるための光源および格子パターン、並びにそのモアレ縞を撮像するためのレンズおよび受光素子から構成される実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定し、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する形状測定装置において、前記受光素子が画素を集積した画素列を3列以上平行に配置した構成からなり、円筒状被検物が、格子パターンを挟んで前記受光素子とは反対側に、その軸方向を前記画素列方向に平行として配置され、前記格子パターン面が、前記受光素子の各画素列方向には傾斜を持たないが、それら画素列の配列方向に傾斜を有して配置されており、また、前記画素列が、前記円筒状被検物表面上の異なる個所を視野としており、さらに当該モアレ光学系を前記円筒状被検物の周りで回転させる機構を有し、前記光学系と前記円筒状被検物の相対位置関係を変化させながら前記受光素子によりモアレ縞画像データを取り込み、そのデータと位相シフト法の計算式とから円筒状被検面の形状を測定することにより、特に、円筒状被検物全面の形状測定を行う。

【0128】

本発明の請求項17の形状測定方法によれば、前記受光素子として3列以上のラインを持ったラインセンサを用いることにより、特に、被検物表面の形状を簡易に測定することができる。

本発明の請求項18の形状測定装置によれば、前記受光素子が、3列以上のラインを持ったラインセンサを含むことにより、特に、請求項7～請求項16のうちのいずれか1項で用いる受光素子を好適な構成とすることができる。

本発明の請求項19の形状測定方法によれば、前記受光素子としてエリアセンサカメラを用い、その任意の3列以上のデータから前記位相シフト法の計算式を用いて被検査対象面の形状を迅速且つ測定することができる。

【0129】

本発明の請求項 2 0 の形状測定装置によれば、前記受光素子がエリアセンサカメラを含み、且つその任意の 3 列以上のデータから前記位相シフト法の計算式を用いて前記被検査対象面の形状を測定することにより、特に、請求項 8 ～請求項 1 6 のうちのいずれか 1 項で用いる受光素子を他の好適な構成とすることができる。

本発明の請求項 2 1 の形状測定方法によれば、前記格子パターンとして、液晶素子を用いることにより、特に、請求項 4、請求項 6、請求項 1 7 および請求項 1 9 のうちのいずれか 1 項による形状測定で用いる格子パターンを好適なものに特定することができる。

本発明の請求項 2 2 の形状測定装置によれば、前記格子パターンが、液晶素子を含むことにより、特に、請求項 1 ～請求項 3、請求項 5、請求項 7、請求項 8 ～請求項 1 0、請求項 1 1 ～請求項 1 3、請求項 1 4 ～請求項 1 6、請求項 1 8 および請求項 2 0 のうちのいずれか 1 項による形状測定で用いる格子パターンを好適な構成とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態に係る形状測定方法の原理を説明するためのモアレ三次元測定法における位相シフト法によるモアレ等高線を示す図である。

【図 2】

本発明の原理に係るモアレ三次元測定法を説明するための図である。

【図 3】

本発明の原理に係る実体格子型のモアレ三次元測定法を説明するための図である。

【図 4】

本発明の原理に係るモアレ三次元測定法における位相シフト法を説明するための図である。

【図 5】

図 4 に係る位相シフト法の原理を説明するための図である。

【図 6】

図 6 (a) , (b) , (c) は、本発明の第 2 の実施の形態による形状測定方法の原理に係る測定手順を説明するための図である。

【図 7】

図 6 (a) , (b) , (c) に係る形状測定方法における撮像領域および格子パターンピッチの変化と撮像のタイミングとの関係を説明するための図である。

【図 8】

図 6 の手順および図 7 の撮像領域および格子パターンピッチの変化と撮像のタイミングとの関係を用いて取得される画像データを模式的に示す図である。

【図 9】

本発明の第 3 の実施の形態に係る形状測定装置に用いる測定ヘッドの構成を模式的に示す斜視図である。

【図 1 0】

本発明の第 3 の実施の形態に係る形状測定装置において、図 9 に示す測定ヘッドを移動させるための駆動機構の構成を模式的に示す斜視図である。

【図 1 1】

本発明の第 4 の実施の形態に係る形状測定装置の原理に係る測定手順を説明するための図である。

【図 1 2】

本発明の第 8 の実施の形態に係る形状測定装置に用いる受光素子の構成を説明するための模式図である。

【図 1 3】

図 1 2 に示す受光素子を用いて本発明の第 8 の実施の形態に係る形状測定装置を構成するための測定用のモアレ光学系の構成を説明するための模式図である。

【図 1 4】

図 1 2 および図 1 3 に示す構成を用いる本発明の第 8 の実施の形態による形状測定装置の原理に係る測定手順を説明するための図である。

【図 1 5】

図 1 4 のような測定手順により画像メモリ上に取得されるデータの例を模式的

に説明するための図である。

【図 1 6】

本発明の第 1 0 の実施の形態に係る形状測定装置において、モアレ光学系の測定ヘッドを移動させるための駆動機構の構成を模式的に示す斜視図である。

【図 1 7】

図 1 6 に示す駆動機構を用いて本発明の第 1 0 の実施の形態に係る形状測定装置を構成するための測定用のモアレ光学系の構成を説明するための模式図である。

【図 1 8】

図 1 6 および図 1 7 に示す構成を用いる本発明の第 1 0 の実施の形態による形状測定装置の原理に係る測定手順を説明するための図である。

【図 1 9】

図 1 7 および図 1 8 に係る円筒状被検物における画素列による視野の高さの相違を説明するための模式図である。

【図 2 0】

本発明の第 1 2 の実施の形態に係る形状測定方法における原理に係るモアレ縞等高線を説明するための模式図である。

【図 2 1】

本発明の第 1 2 の実施の形態に係る形状測定方法を実施するための測定用のモアレ光学系の構成を説明するための模式図である。

【図 2 2】

図 2 1 に示す構成を用いる本発明の第 1 2 の実施の形態による形状測定方法の原理に係る測定手順を説明するための図である。

【図 2 3】

本発明の第 1 4 の実施の形態に係る形状測定装置を実施するための測定用のモアレ光学系の構成を説明するための模式図である。

【図 2 4】

図 2 3 に示す構成を用いる本発明の第 1 4 の実施の形態による形状測定装置の原理に係る測定手順を説明するための図である。

【図 2 5】

本発明の第 1 6 の実施の形態に係る形状測定方法における原理に係る格子パターンの移動によるモアレ縞のシフトを説明するための模式図である。

【図 2 6】

本発明の第 1 6 の実施の形態に係る形状測定方法における原理に係るモアレ縞等高線を説明するための模式図である。

【図 2 7】

本発明の第 1 6 の実施の形態に係る形状測定方法を実施するための測定用のモアレ光学系の構成を説明するための模式図である。

【図 2 8】

図 2 7 のモアレ光学系における格子パターンの配置を詳細に説明するための模式図である。

【図 2 9】

図 2 7 に示す構成を用いる本発明の第 1 6 の実施の形態による形状測定方法の原理に係る測定手順を説明するための図である。

【図 3 0】

本発明の第 1 8 の実施の形態に係る形状測定装置を実施するための測定用のモアレ光学系の構成を説明するための模式図である。

【図 3 1】

図 3 0 に示す構成を用いる本発明の第 1 8 の実施の形態による形状測定装置の原理に係る測定手順を説明するための図である。

【図 3 2】

本発明の第 2 0 の実施の形態に係る形状測定方法および装置に用いる受光素子の構成を説明するための模式図である。

【図 3 3】

本発明の第 2 2 の実施の形態に係る信号処理装置の構成を示す模式的ブロック図である。

【図 3 4】

図 3 3 に示した本発明の第 2 2 の実施の形態に係る信号処理装置の動作を模式

的に説明するための図である。

【図 3 5】

円筒状被検物の従来の表面欠陥の検査方法の一例を説明するための図である。

【図 3 6】

円筒状被検物の従来の表面欠陥の検査方法の他の一例を説明するための図である。

【図 3 7】

格子投影型のモアレ法による三次元測定法の従来の一例を説明するための模式図である。

【図 3 8】

実体格子型のモアレ法による三次元測定法の従来の一例を説明するための模式図である。

【符号の説明】

- 1 0 測定ヘッド
- 1 1 光源
- 1 2 格子パターン
- 1 4 受光素子
- 1 5 平面状被検物
- 1 6 X Y 自動ステージ
- 1 7 円筒状被検物
- 1 8 受光素子
- 1 9 格子パターン
- 2 1 チャック
- 2 2 回転機構 (モータ)
- 2 3 測定ヘッド
- 2 4 自動ステージ
- 3 1 ラインバッファ群
- 3 2 位相演算回路
- 3 3 フレームメモリ

特 2001-290640

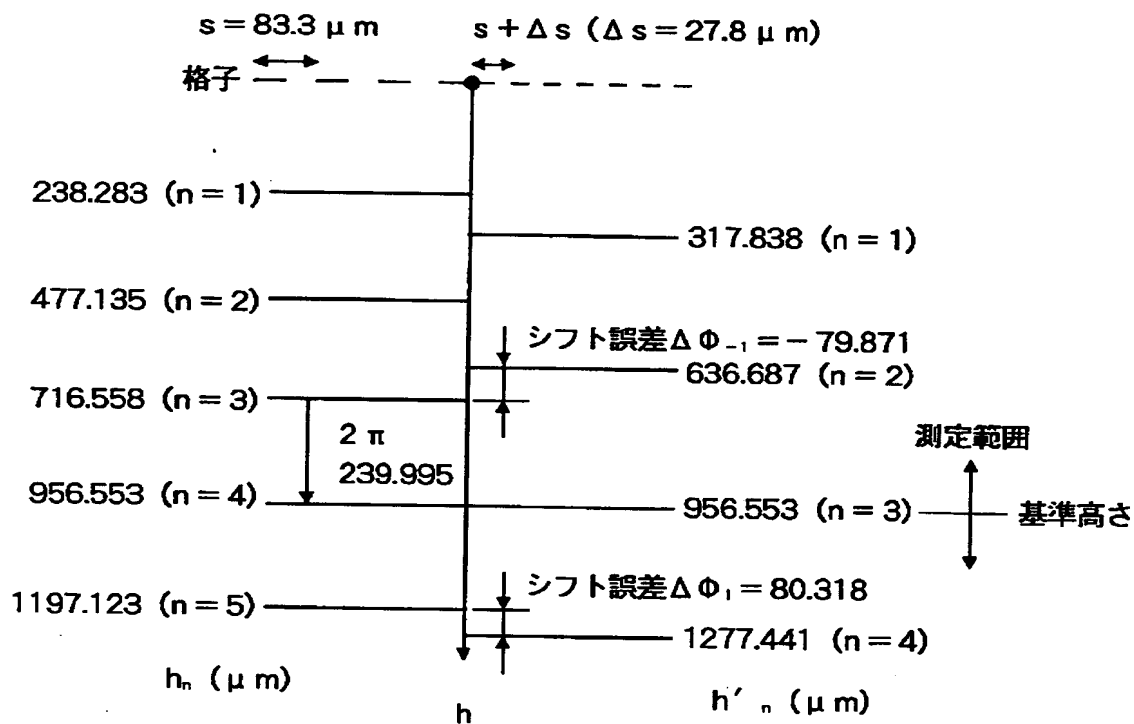
PR 受光素子

VP 格子パターン

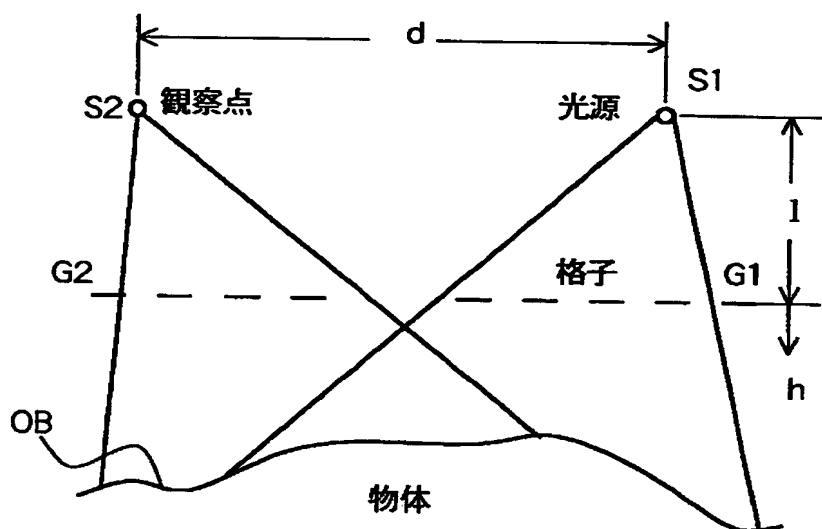
OBF 平面状被検物

【書類名】 図面

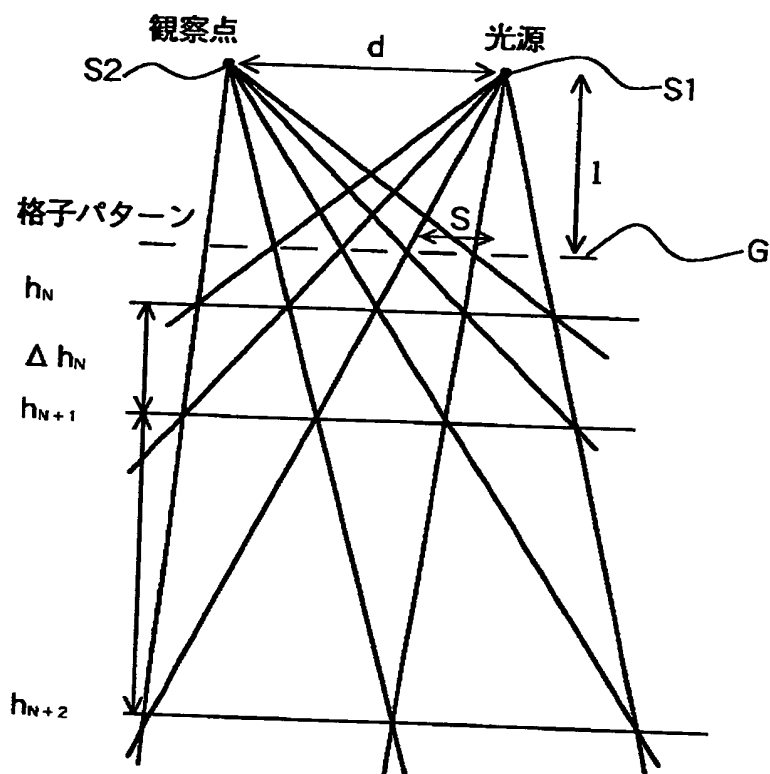
【図 1】



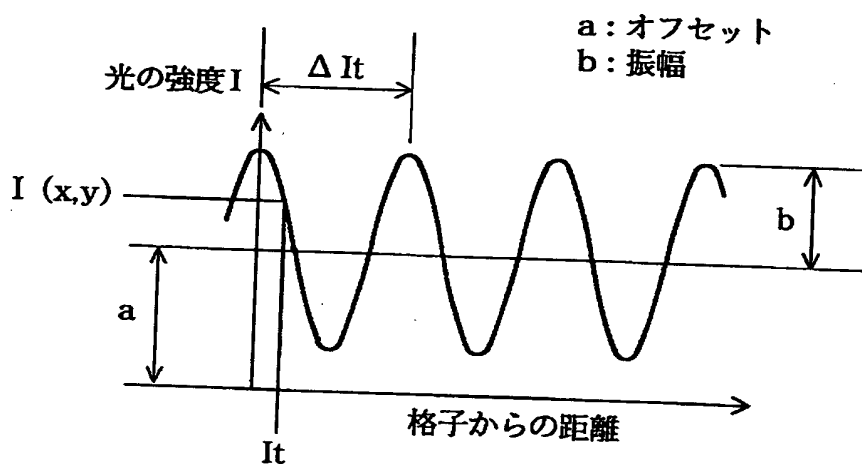
【図 2】



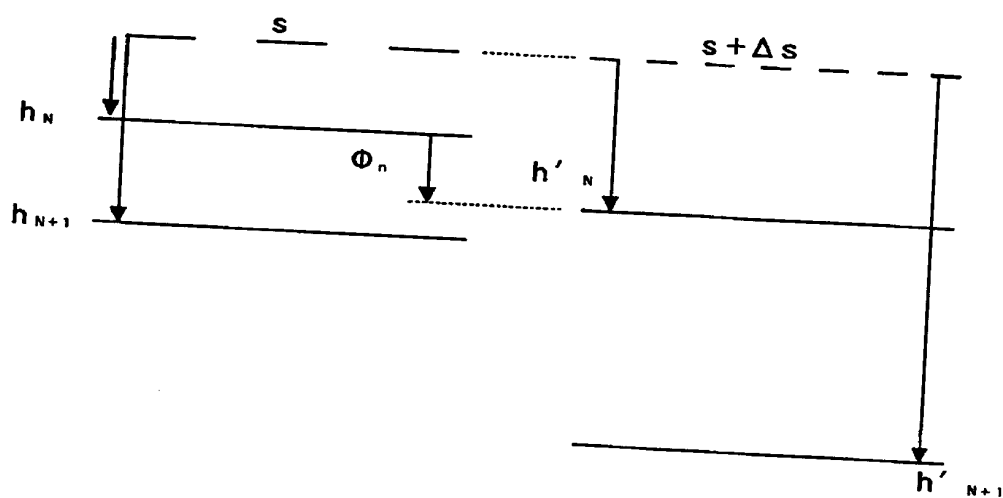
【図 3】



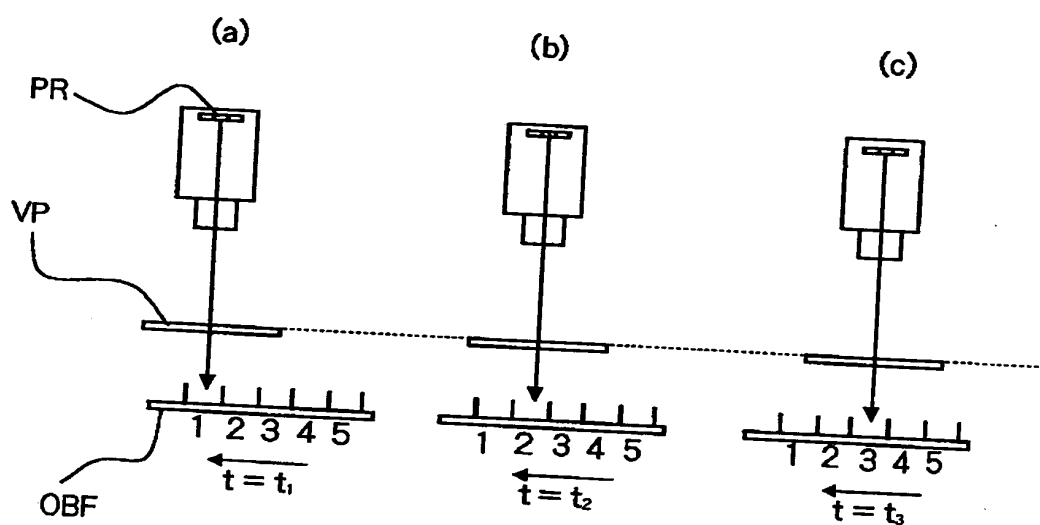
【図4】



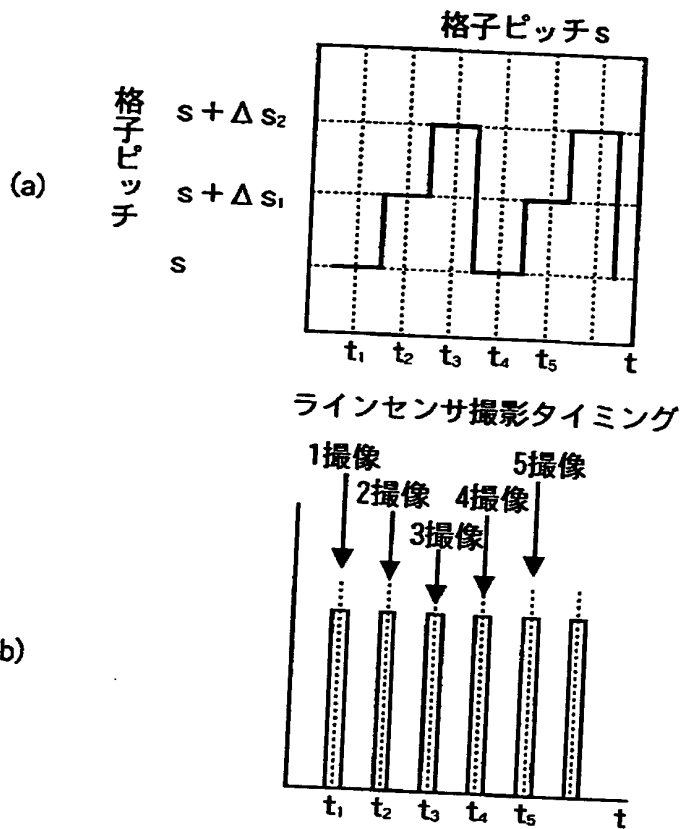
【図5】



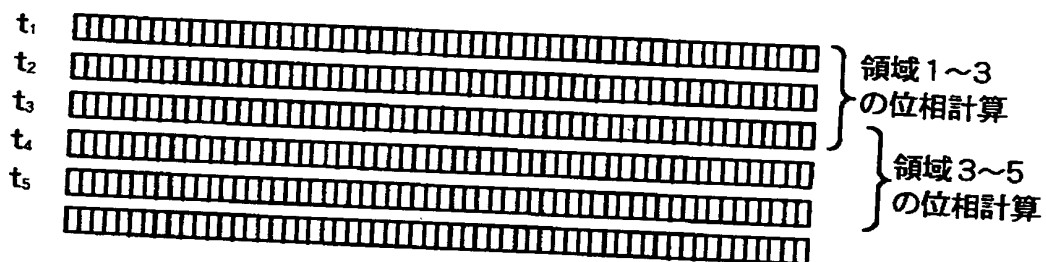
【図6】



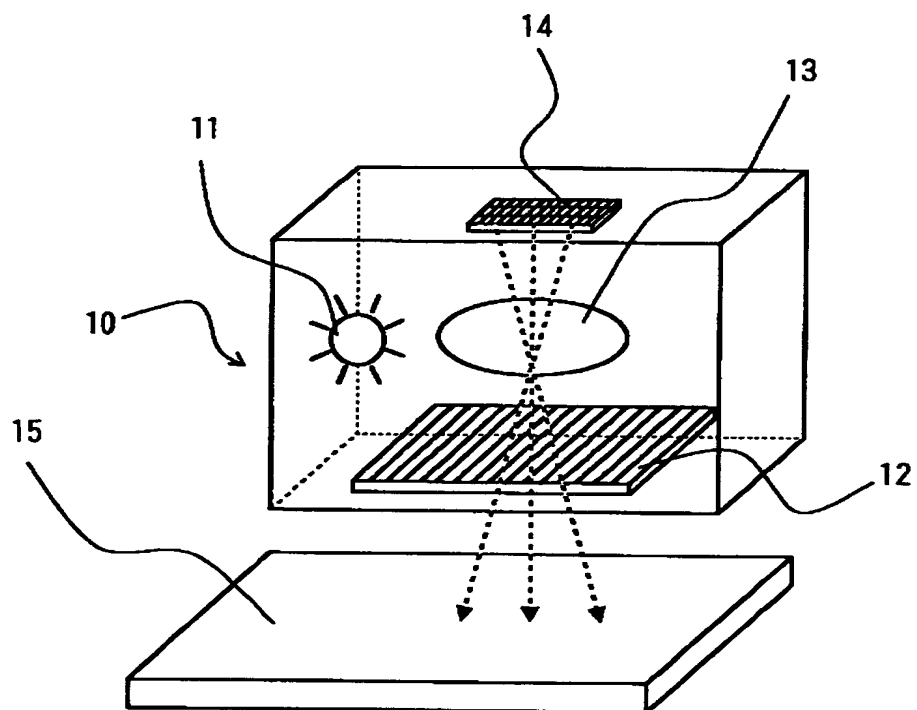
【図7】



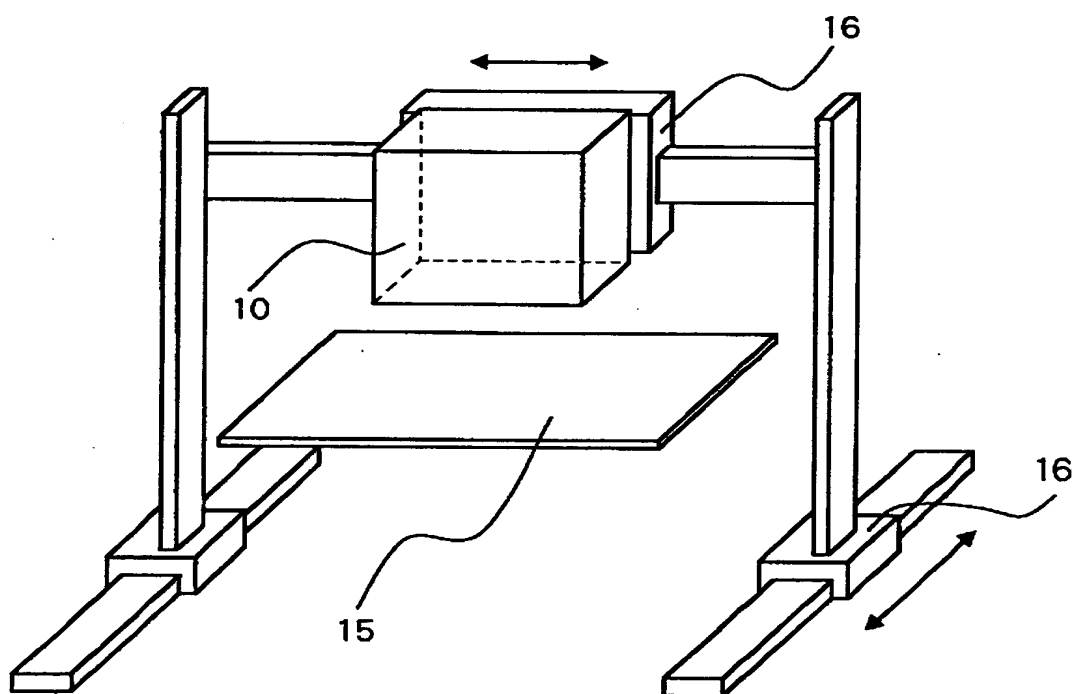
【図8】



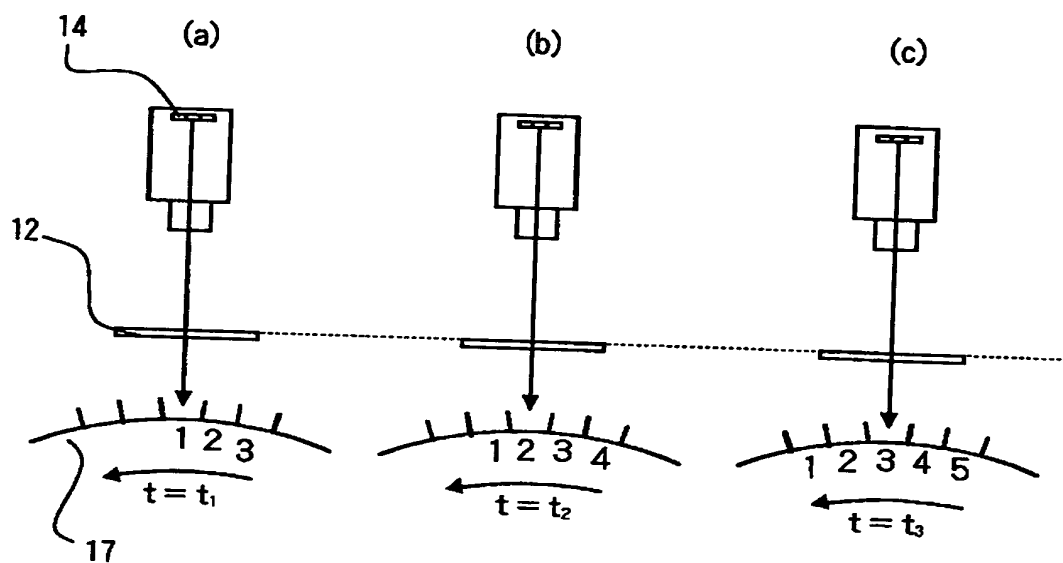
【図9】



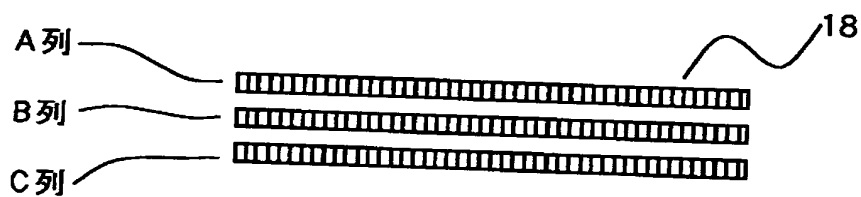
【図10】



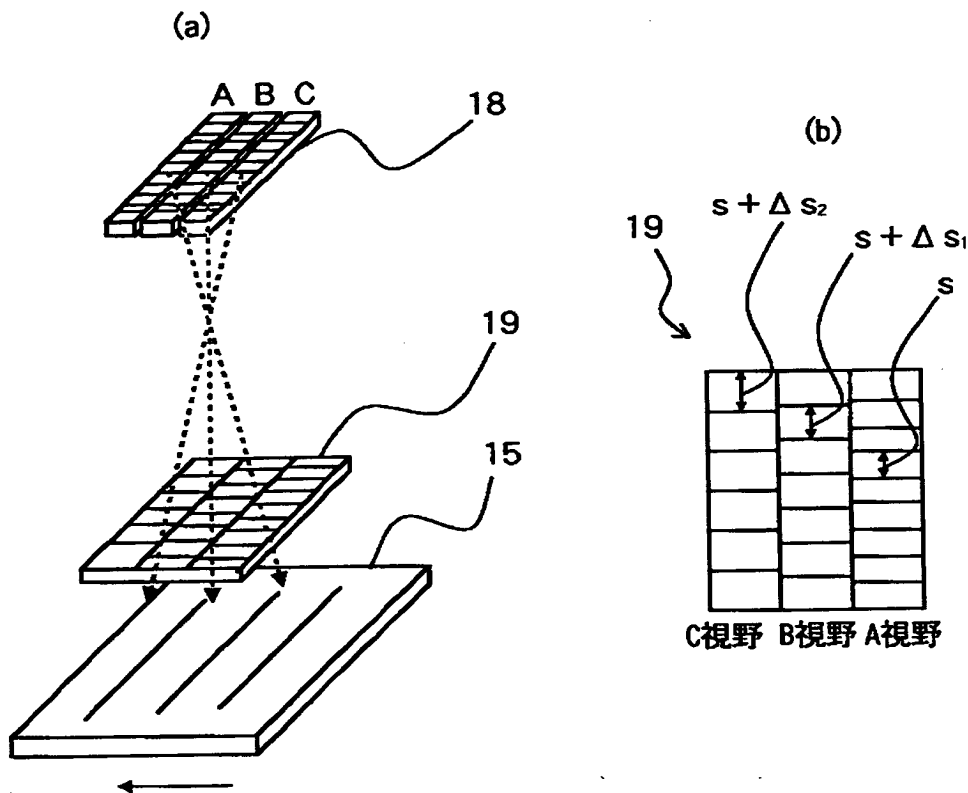
【図 1 1】



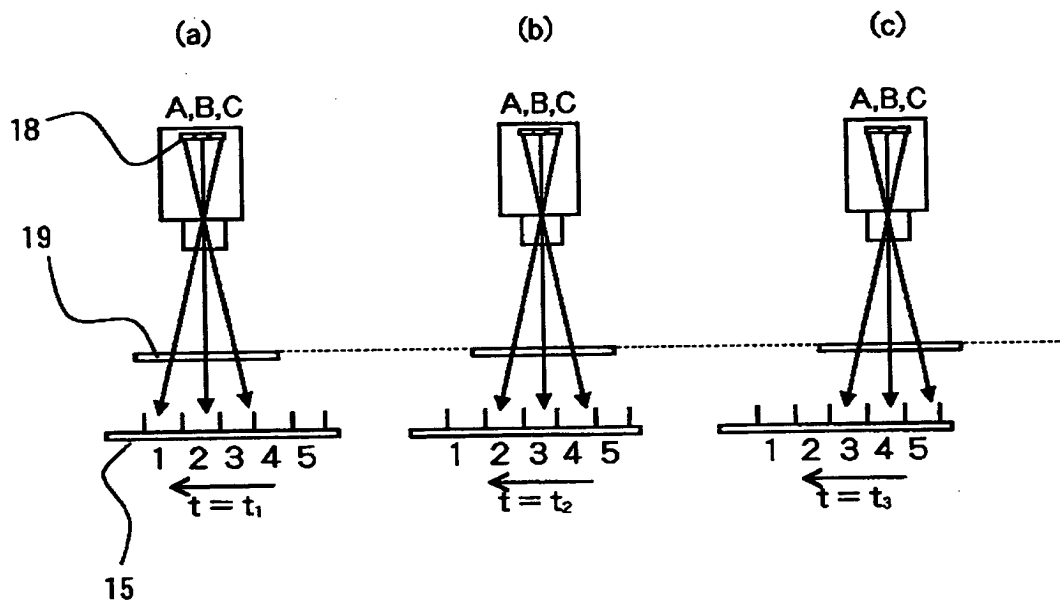
【図 1 2】



【図 13】



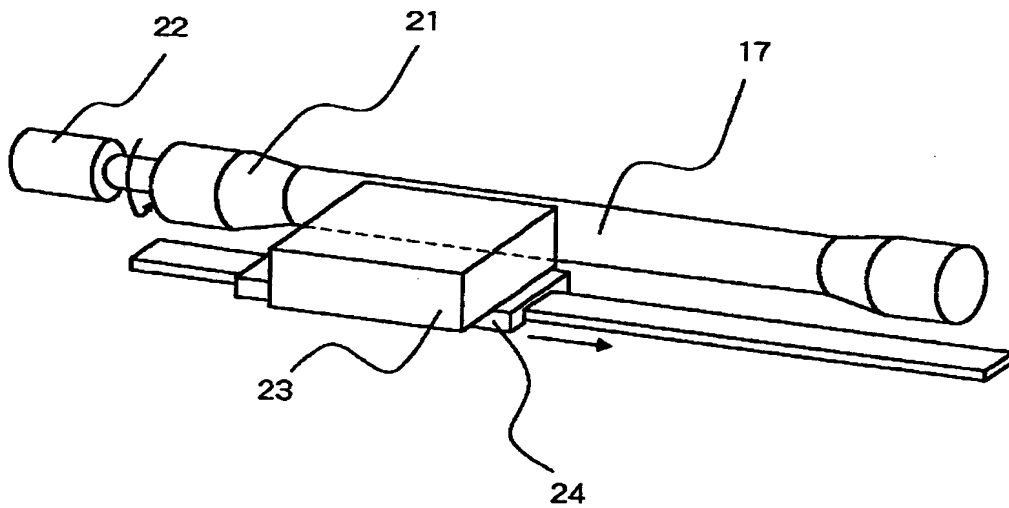
【図 14】



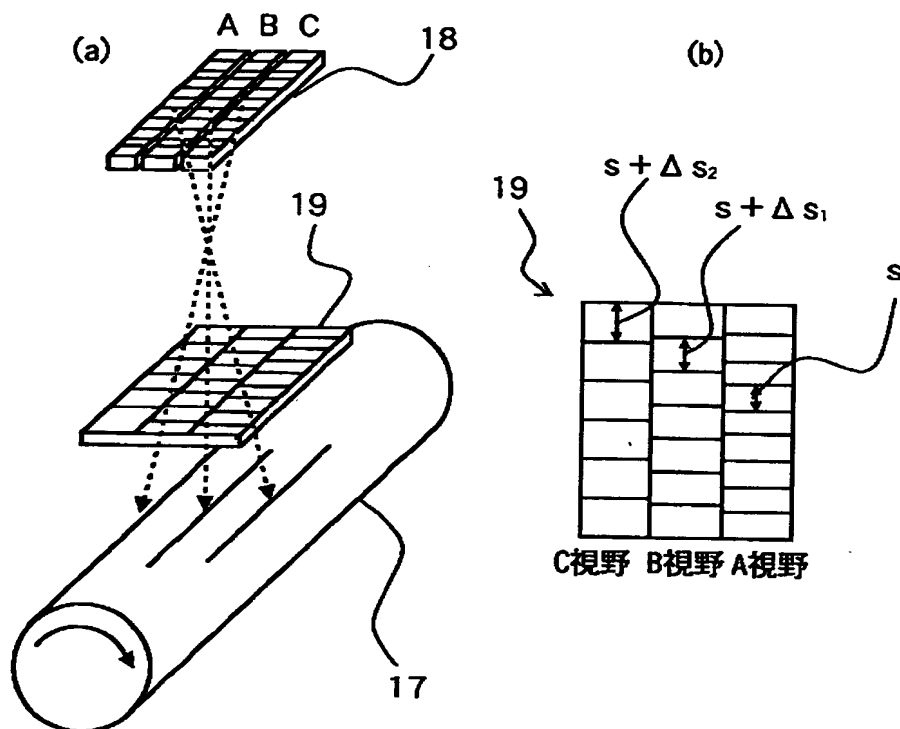
【図15】

	A列 (ステップ0)	B列 (ステップ1)	C列 (ステップ2)
t_1	領域3	領域2	領域1
t_2	領域4	領域3	領域2
t_3	領域5	領域4	領域3
t_4	領域6	領域5	領域4

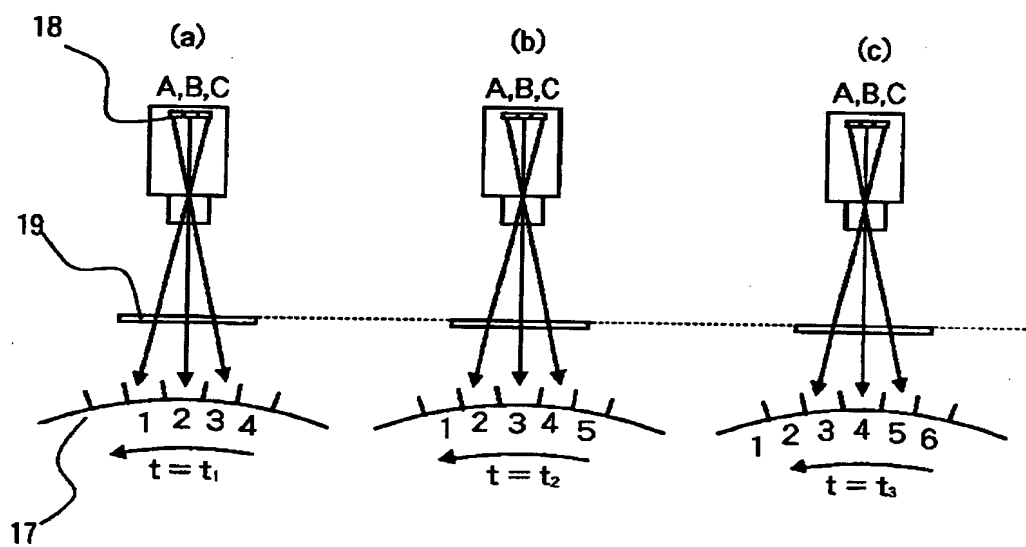
【図16】



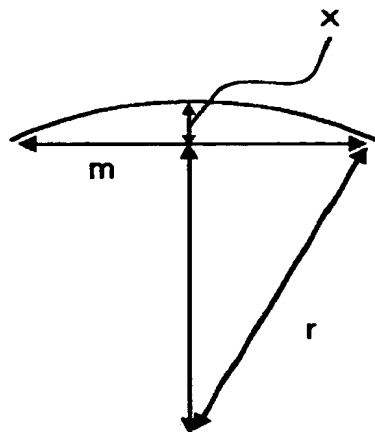
【図17】



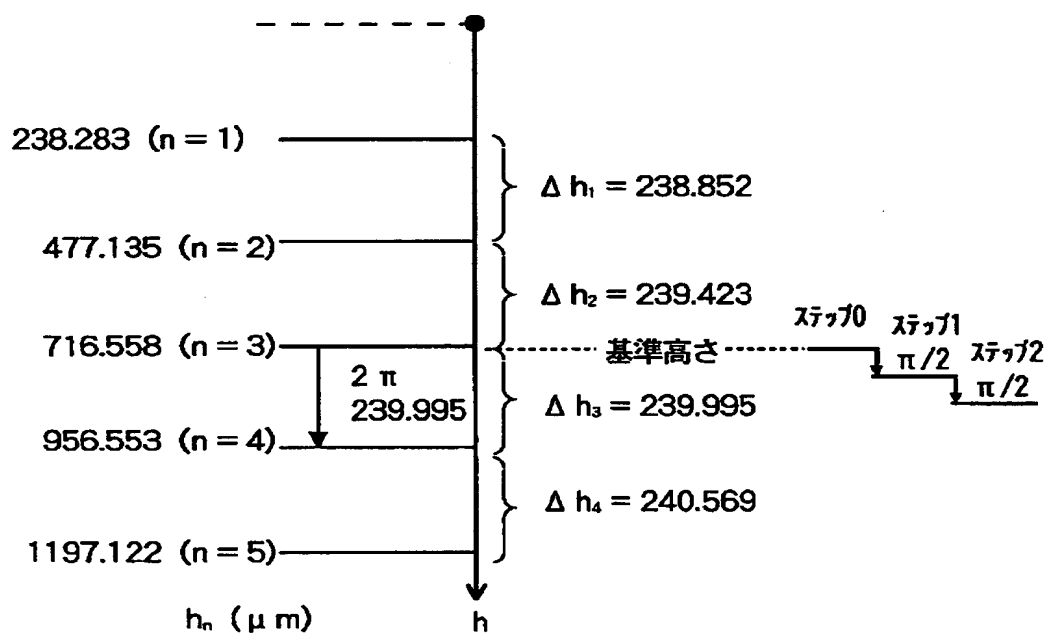
【図18】



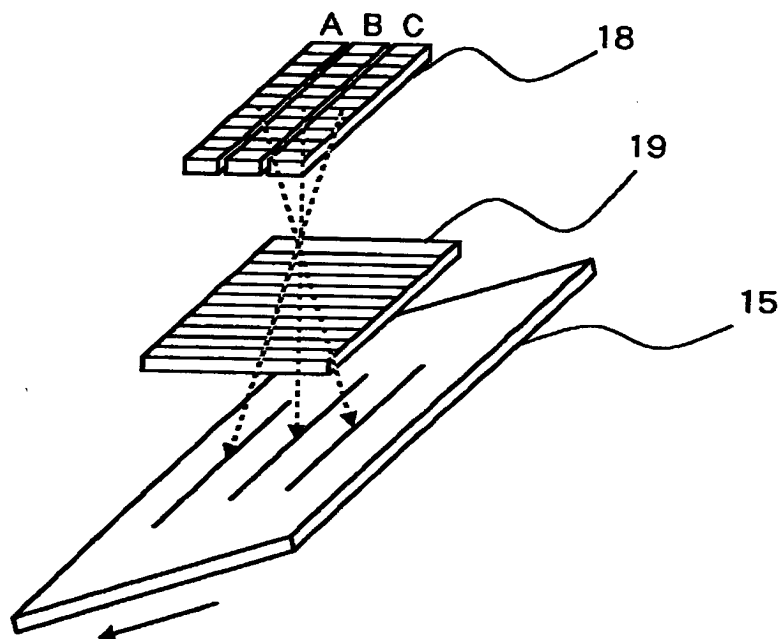
【図19】



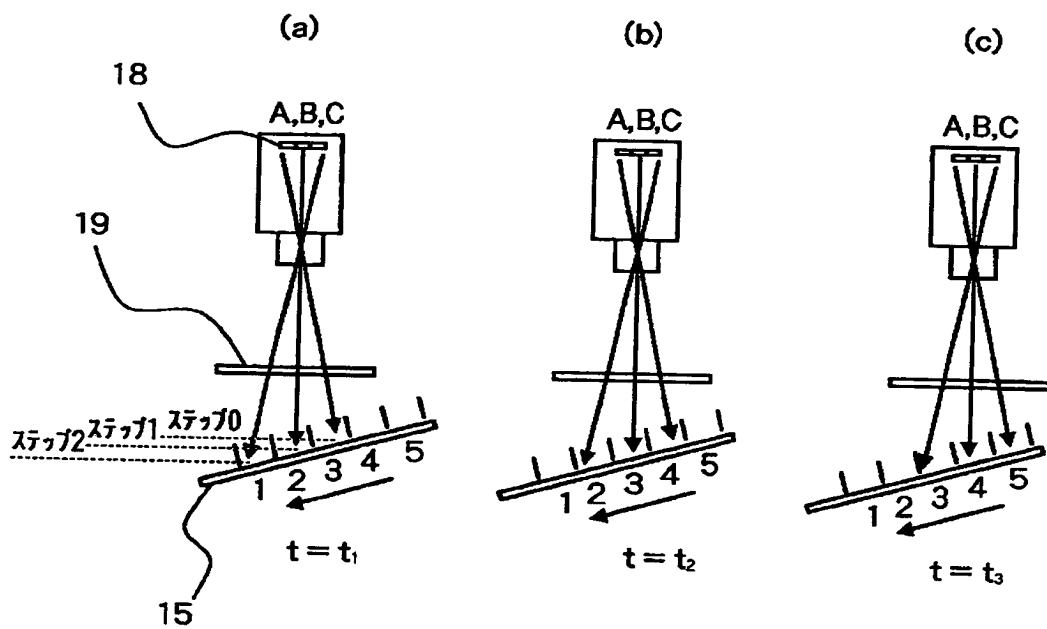
【図20】



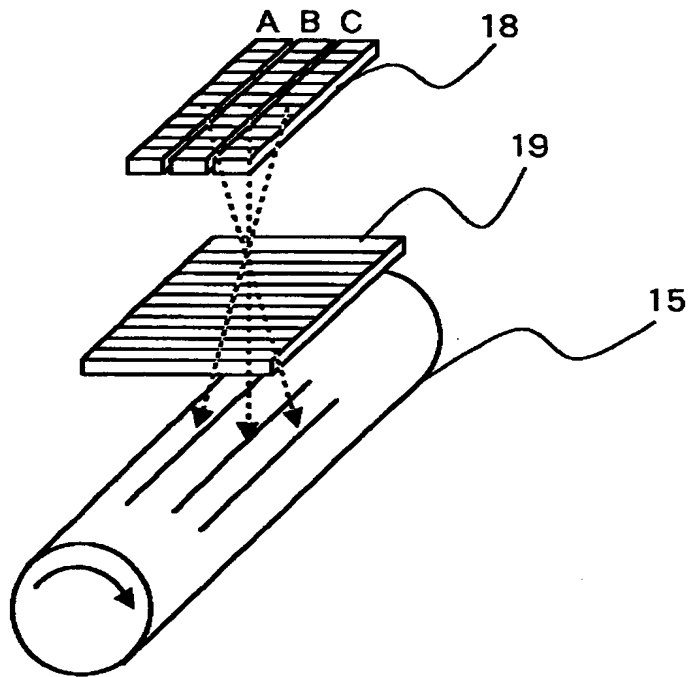
【図 21】



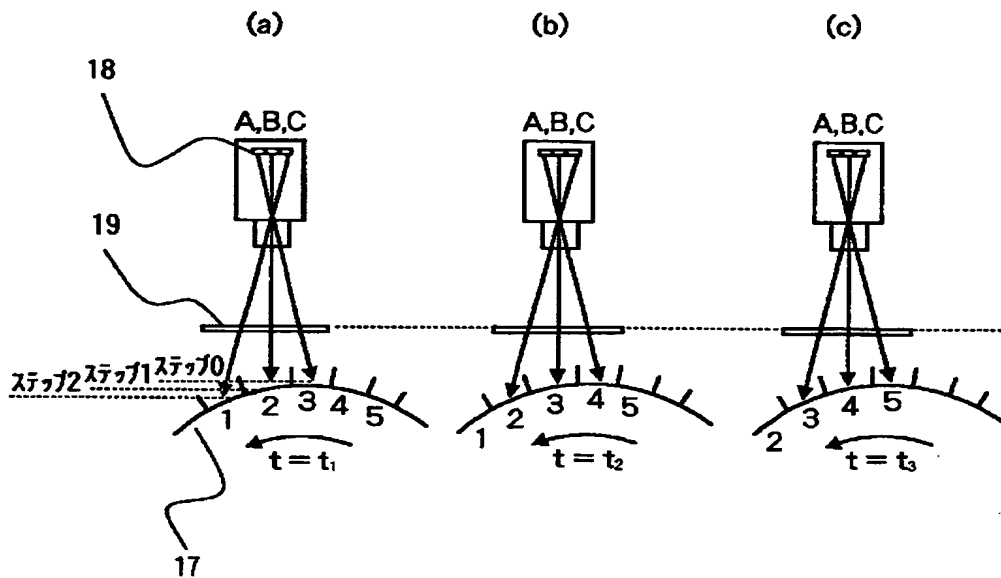
【図 22】



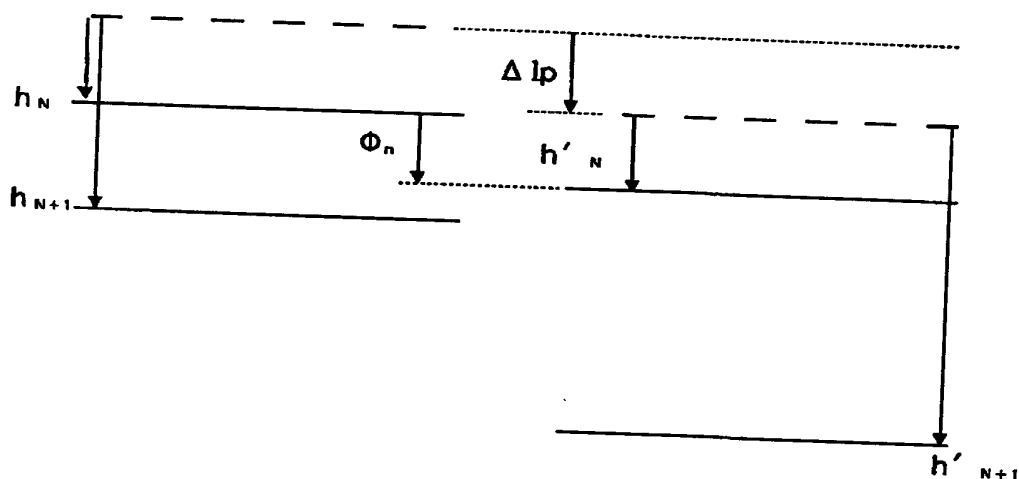
【図 23】



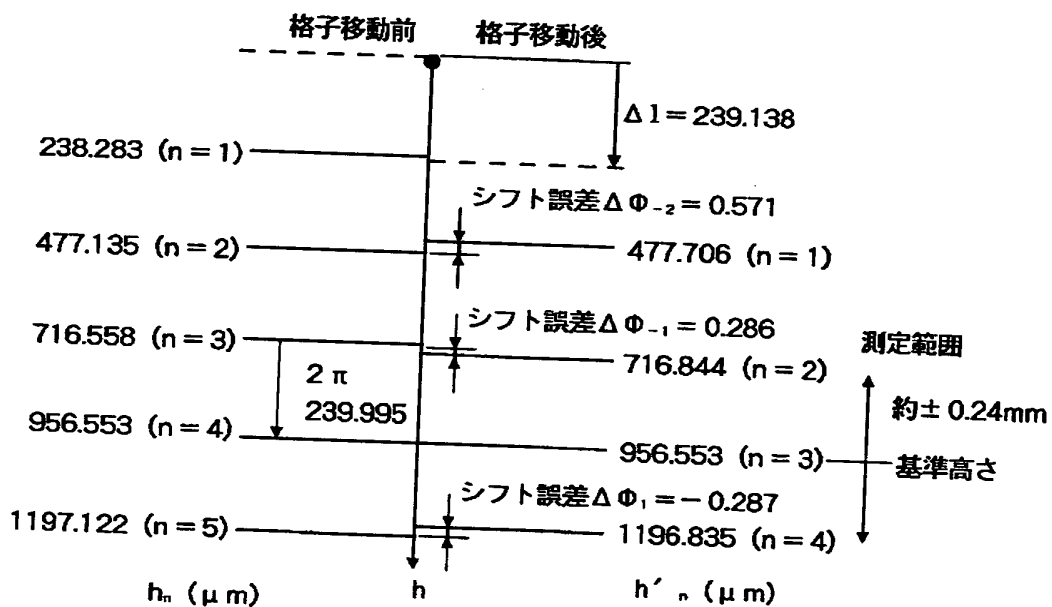
【図 24】



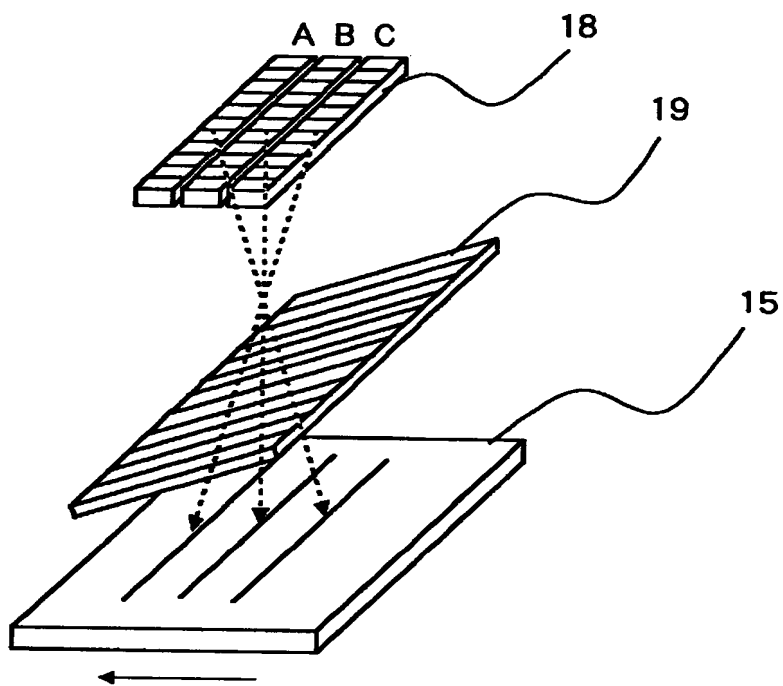
【図 25】



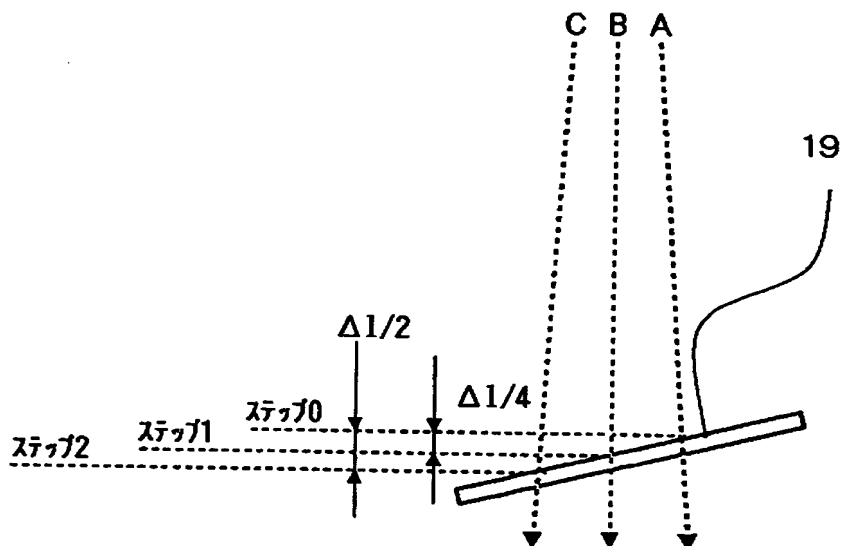
【図 26】



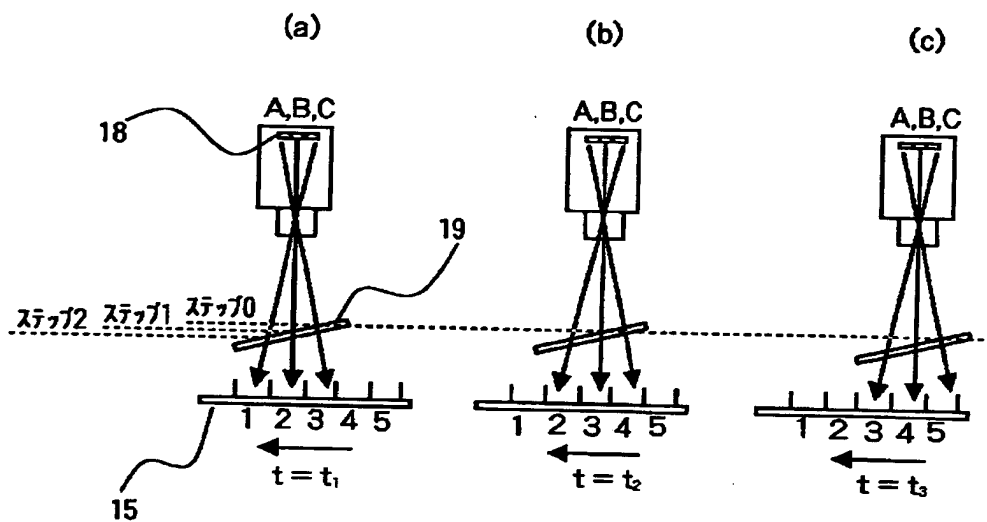
【図 27】



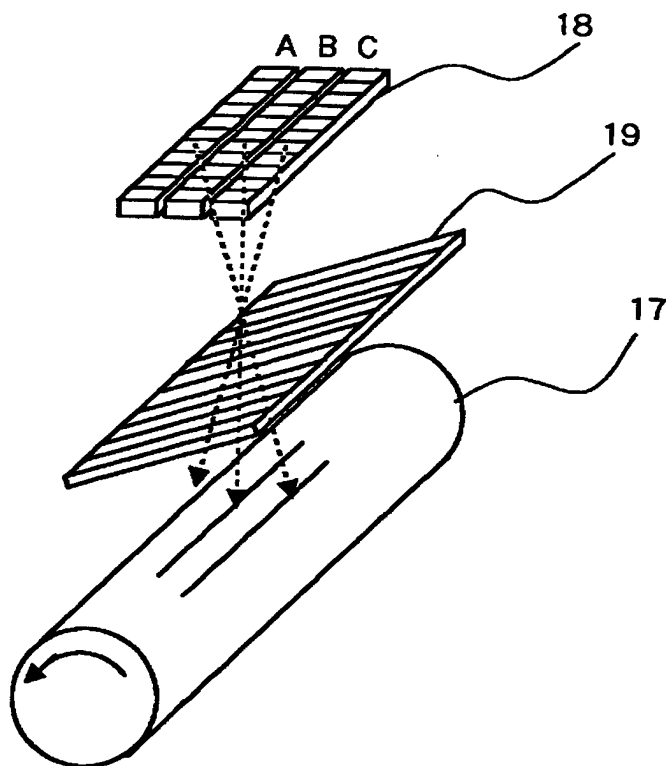
【図 28】



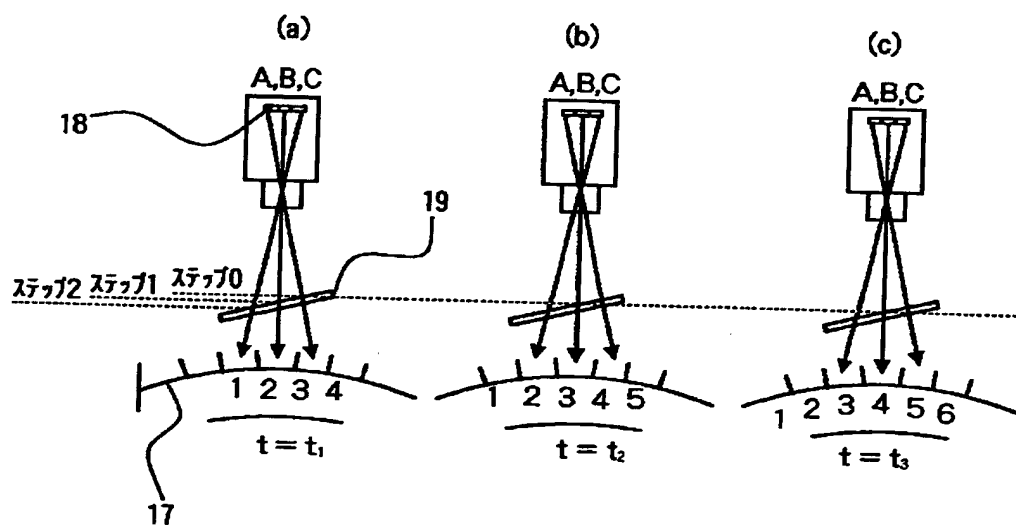
【図29】



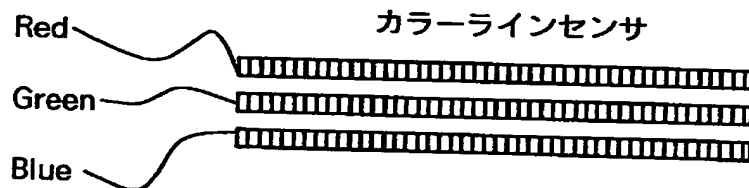
【図30】



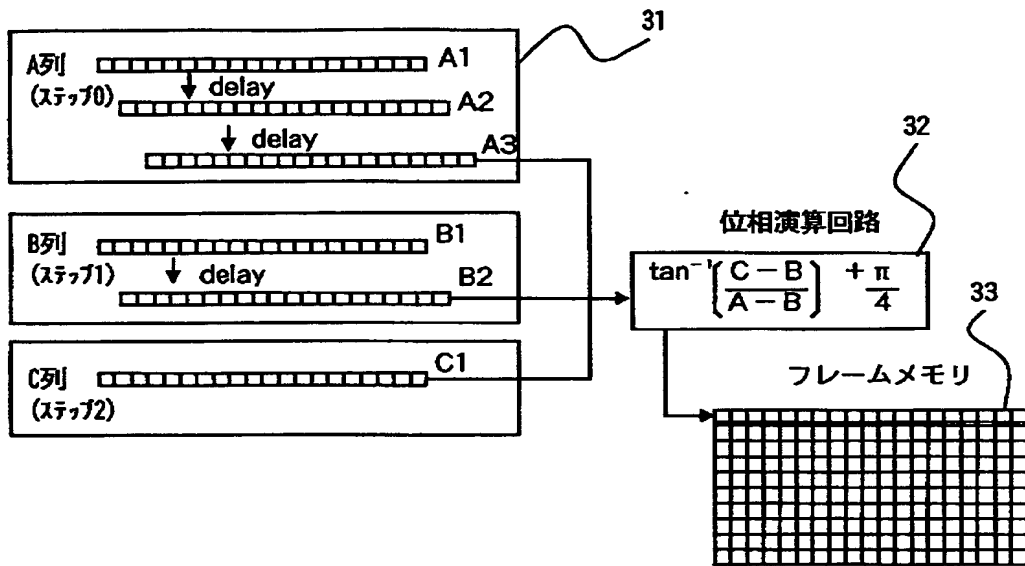
【図 3 1】



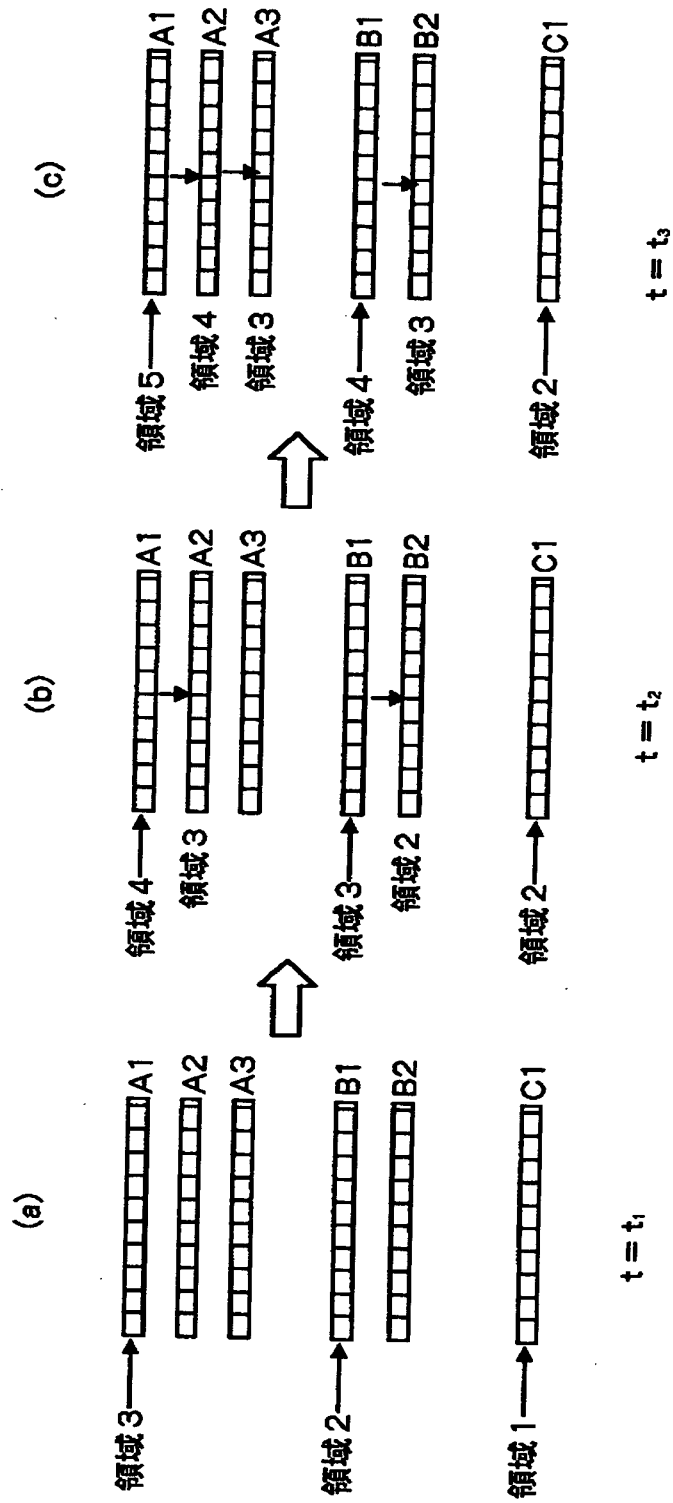
【図 3 2】



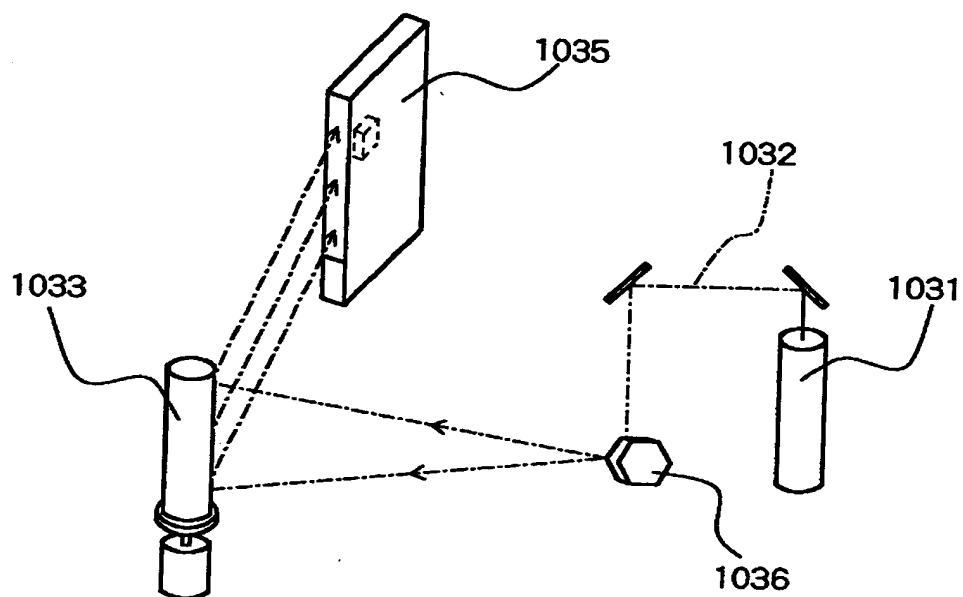
【図33】



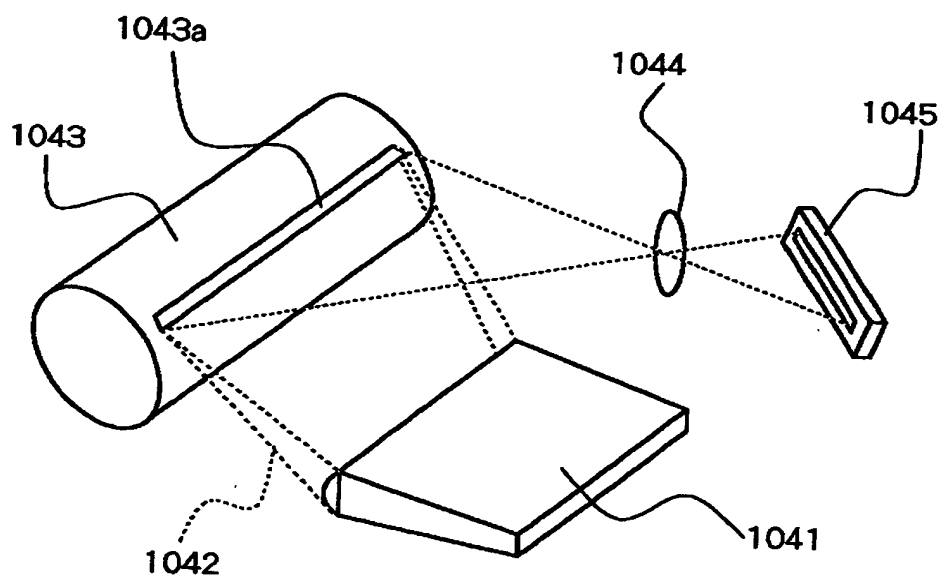
【図34】



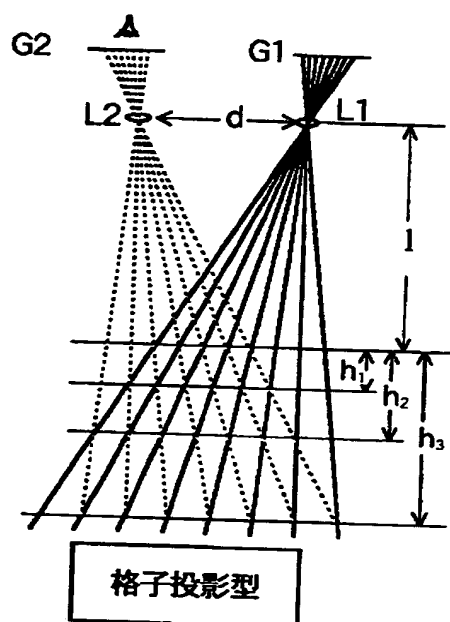
【図 3 5】



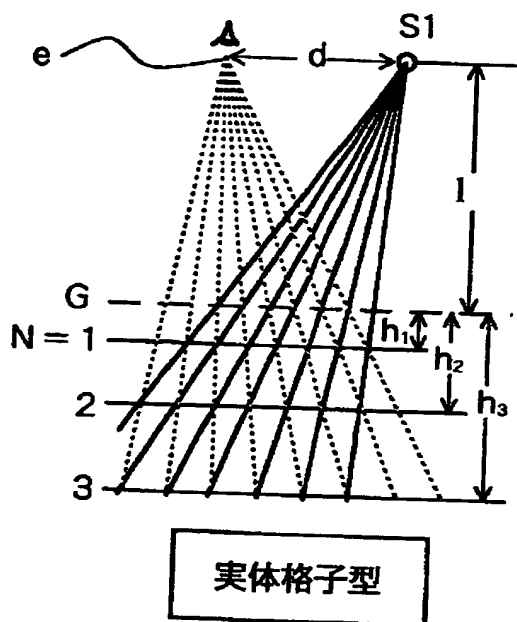
【図 3 6】



【図 37】



【図 38】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 実体格子型のモアレ法に位相シフト法を適用して、1回の1連の撮像により位相シフトした画像を得ることを可能とし、高速に形状測定を行う。

【解決手段】 実体格子型のモアレ光学系を用い、特定の縞次数のモアレ縞を所望の位相だけ正確にシフトさせて、測定領域をその縞次数近辺に限定して、少なくとも3つの位相シフトしたモアレ縞データから被検物表面の形状を3次元測定する。前記モアレ縞をシフトさせた画像を受光素子14に入力するためにピッチの異なる格子パターン12を用いる。測定ヘッド10には、光源11と、格子パターン12と受光素子14とレンズ13とから構成されている。光学系を含む測定ヘッド10と平面状被検物15との相対関係は、特定の方向に移動させるための機構を含む。

【選択図】 図9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000006747]

1. 変更年月日 1990年 8月24日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
氏 名 株式会社リコー